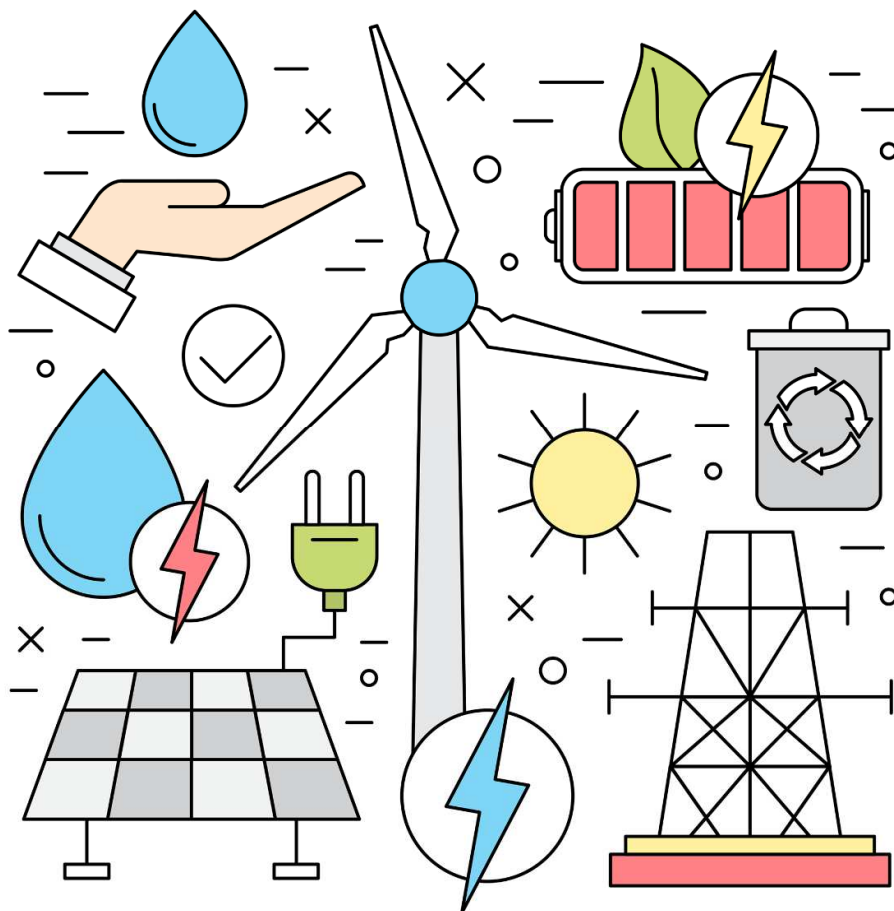




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Περιβάλλοντος
και Ενέργειας

Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050



Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	4
1 Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΟΥΔΕΤΕΡΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΕ ΚΑΙ ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΟ 2050	7
2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ.....	8
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	10
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	10
3.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ	13
4. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	16
4.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	16
4.1.1 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	16
4.1.2 Διάρθρωση των εκπομπών ανά τομέα.....	17
4.1.3 Δείκτες για τις ΑΠΕ	20
4.1.4 Δείκτες ενεργειακής έντασης	22
4.2 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	24
4.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ.....	26
4.3.1 Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια.....	26
4.3.2 Κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία	34
4.3.3 Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές	38
4.3.4 Οδικές μεταφορές	40
4.3.5 Μη-Οδικές μεταφορές.....	41
4.3.6 Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές	43
4.3.7 Το ηλεκτρικό σύστημα.....	43
4.3.8 Ο τομέας του αερίου	52
4.3.9 Η βιομάζα.....	56
4.4 ΚΟΣΤΟΣ, ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ.....	59
5 ΞΕΩΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ 2050	65
6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	71
6.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	71
6.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟ	78
6.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PRIMES	78

Κατάλογος Πινάκων και Σχημάτων

Πίνακας 1: Σχεδιασμός σεναρίων για το ΜΣ50.....	12
Πίνακας 2: Δείκτης ενεργειακής εξάρτησης.....	26
Πίνακας 3: Πλήθος νέων και ανακαινισμένων κτιρίων και ενεργειακή επίδοση του κελύφους.....	27
Πίνακας 4: Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια	28
Πίνακας 5: Επενδυτικές δαπάνες και δείκτες κόστους-οφέλους για την ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους κτιρίων	32
Πίνακας 6: Τελική κατανάλωσης ενέργειας σε ειδικές ηλεκτρικές χρήσεις και φωτισμό (ktoe)	33
Πίνακας 7: Μείωση των εκπομπών CO ₂ στους κτιριακούς τομείς το 2050 σε σύγκριση με το 2005	34
Πίνακας 8: Όγκοι παραγωγής ενεργοβόρων υλικών σε σενάρια με πολιτική για την κυκλική οικονομία.....	35
Πίνακας 9: Ενεργειακή ένταση και ανθρακικό αποτύπωμα της βιομηχανίας.....	36
Πίνακας 10: Ανθρακικό αποτύπωμα στην ηλεκτροπαραγωγή	45
Πίνακας 11: Σύνοψη επενδυτικών δαπανών ανά τομέα	64
Πίνακας 12: Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής	71
Πίνακας 13: Τεχνικές ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων	73
Πίνακας 14: Συσκευές και εξοπλισμοί	74
Πίνακας 15: Μεταφορικά μέσα	75
Πίνακας 16: Νέες τεχνολογίες υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων	76
Πίνακας 17: Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	77
Σχήμα 1: Κανονικοποιημένες διαφορές ενεργειακών μοντέλων για το έτος 2030 (ΕΣΕΚ)	9
Σχήμα 2: Σενάριο οικονομικής και δημογραφικής εξέλιξης	13
Σχήμα 3: Σενάριο εξέλιξης όγκου παραγωγής ενεργοβόρων βιομηχανιών.....	14
Σχήμα 4: Σενάριο εξέλιξης διεθνών τιμών ορυκτών καυσίμων (μέσες τιμές εισαγωγής χωρίς κόστος μεταφοράς προς σημεία κατανάλωσης, κόστος αποθήκευσης και εξισορρόπησης)	15
Σχήμα 5: Σενάριο εξέλιξης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής CO ₂ στο EU ETS.....	15
Σχήμα 6: Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια για την Ελλάδα	16
Σχήμα 7: Διάρθρωση ανά τομέα των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια για την Ελλάδα	17
Σχήμα 8: Μεταβολή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα	19
Σχήμα 9: Δείκτες ΑΠΕ, στα σενάρια ΜΣ50	21
Σχήμα 10: Δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας στα σενάρια ΜΣ50	23
Σχήμα 11: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στα σενάρια ΜΣ50	25
Σχήμα 12: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα	29
Σχήμα 13: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών	30
Σχήμα 14: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στη γεωργία.....	31
Σχήμα 15: Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συσκευών	33
Σχήμα 16: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στη βιομηχανία.....	37
Σχήμα 17: Συσχέτιση της δραστηριότητας και της ενέργειας στις μεταφορές με το ΑΕΠ.....	38
Σχήμα 18: Διάρθρωση της δραστηριότητας του τομέα των μεταφορών	39
Σχήμα 19: Διάρθρωση του στόλου στις οδικές μεταφορές	40
Σχήμα 20: Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές.....	42
Σχήμα 21: Ακαθάριστη ζήτηση και ηλεκτροπαραγωγή.....	44
Σχήμα 22: Ζήτηση και παραγωγή ηλεκτρισμού	45
Σχήμα 23: Δομή της ηλεκτροπαραγωγής κατά είδος μονάδας και είδος καυσίμου	46
Σχήμα 24: Ισχύς των ΑΠΕ και της συμβατικής παραγωγής.....	49
Σχήμα 25: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας	50
Σχήμα 26: Δέσμευση, αποθήκευση και χρήση διοξειδίου άνθρακα	51
Σχήμα 27: Μείγμα αερίων στο δίκτυο διανομής και ανθρακικό αποτύπωμα.....	53
Σχήμα 28: Διανομή αερίων καυσίμων, χρήση συνθετικών καυσίμων και βιομάζας στην τελική κατανάλωση.....	54
Σχήμα 29: Διάρθρωση της κατανάλωσης αερίου κατά τομέα	55
Σχήμα 30: Η ανάπτυξη της βιομάζας	57
Σχήμα 31: Διάρθρωση της κατανάλωσης βιομάζας.....	57
Σχήμα 32: Ανάπτυξη των πρώτων υλών βιομάζας και χρήσης γης.....	58
Σχήμα 33: Συνολικό κόστος ενεργειακών υπηρεσιών για τους τελικούς καταναλωτές	61
Σχήμα 34: Διάρθρωση κόστους και μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	61
Σχήμα 35: Διάρθρωση του κόστους για τους καταναλωτές σε πάγιο και μεταβλητό.....	62
Σχήμα 36: Διάρθρωση των επενδυτικών δαπανών	63

Εισαγωγικό σημείωμα

Η Μακροχρόνια Στρατηγική για το έτος 2050, αποτελεί για την Ελληνική Κυβέρνηση έναν οδικό Χάρτη για τα θέματα του Κλίματος και της Ενέργειας, στο πλαίσιο της συμμετοχής της χώρας στο συλλογικό Ευρωπαϊκό στόχο της επιτυχούς και βιώσιμης μετάβασης σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στρατηγική επιδίωξη της Κυβέρνησης είναι να συμμετέχει αναλογικά στη δέσμευση για μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία σε επίπεδο ΕΕ και να συμβάλει στη νέα Πράσινη Συμφωνία που προωθείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης και υιοθέτησης του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ), όπου αναλύονται οι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι που θέτει η χώρα καθώς και οι Προτεραιότητες Πολιτικής και τα μέτρα για την υλοποίησή τους, η Κυβέρνηση διερευνά, επίσης, το βέλτιστο μείγμα διάρθρωσης και εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος μέχρι το έτος 2050 για την επίτευξη συγκεκριμένων κλιματικών στόχων ώστε να καθορίσει και το πλαίσιο για την μακροπρόθεσμη ενεργειακή και κλιματική στρατηγική της χώρας για το έτος 2050.

Υιοθετώντας και συμμετέχοντας στο στρατηγικό μακροπρόθεσμο όραμα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μια ευημερούσα, σύγχρονη, ανταγωνιστική και κλιματικά ουδέτερη οικονομία έως το 2050, η Κυβέρνηση συντάσσεται με τη στρατηγική για την ουδετερότητα του κλίματος, σχεδιάζοντας την εφαρμογή καινοτόμων αλλά ρεαλιστικών τεχνολογικών εφαρμογών και ευθυγραμμίζοντας τις δράσεις σε θέματα χρηματοδότησης και έρευνας, εξασφαλίζοντας παράλληλα κοινωνική δικαιοσύνη στο πλαίσιο μιας δίκαιης μετάβασης.

Είναι σαφές ότι η μακροχρόνια στρατηγική αναπτύσσεται συμπληρωματικά στο ΕΣΕΚ, το οποίο και αποτελεί το κεντρικό στρατηγικό σχέδιο βάσει του οποίου υλοποιούνται συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής στους τομείς της ενέργειας και του κλίματος. Στο πλαίσιο αυτό η μακροπρόθεσμη στρατηγική έχει ως σημείο αναφοράς το έτος 2030 και προϋποθέτει την επίτευξη των σχετικών στόχων του ΕΣΕΚ. Το σημείο εκκίνησης σε επίπεδο νέων μέτρων πολιτικής και της εφαρμογής τους, στο πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής, είναι το έτος 2030, και ο σχεδιασμός αυτών εξαρτάται τόσο από το ακριβές ενεργειακό μείγμα που θα έχει διαμορφωθεί τότε όσο και από τις αντίστοιχες τεχνικο-οικονομικές συνθήκες.

Στόχο αποτελεί η μακροπρόθεσμη στρατηγική να παρουσιάζει τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις με δυνατότητα εφαρμογής στο εγχώριο πεδίο, αποφεύγοντας τη μοναδιαία επιλογή κάποιων εξ' αυτών, ώστε σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής να υπάρχει η δυνατότητα και η ευελιξία για προσαρμογή των μέτρων ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο και τη διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας μετά το έτος 2030.

Υπό το πρίσμα αυτό η μακροχρόνια στρατηγική εξετάζει το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών και των διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος, για την απαραίτητη ενεργειακή μετάβαση με τον πιο οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο για την εθνική οικονομία, προκειμένου να επιτευχθεί δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εκσυγχρονισμός της οικονομίας.

Το ΕΣΕΚ αποτελεί το βασικό εργαλείο σχεδιασμού της εθνικής πολιτικής για την επίτευξη των μεσοπρόθεσμων ενεργειακών και κλιματικών στόχων μέχρι το έτος 2030 και στο πλαίσιο αυτό η μακροχρόνια στρατηγική, συνεχίζει από το συγκεκριμένο χρονικό σημείο, καθώς, όπως αναφέρεται και στο ΕΣΕΚ, οι δυνατότητες εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος μέχρι το 2030 για το σενάριο επίτευξης των εθνικών στόχων επιτρέπουν και διαφοροποιήσεις, ειδικά σε επίπεδο μεριδίου της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, στην κατανάλωση ενέργειας στους επιμέρους τελικούς τομείς, άρα και μεριδίου των επιμέρους καυσίμων.

Η δεκαετία 2030-2040, θα πρέπει να αποτελεί μια δεκαετία επιλογής των τότε ώριμων τεχνολογικών λύσεων για υιοθέτηση, αλλά και συνέχισης των επιτυχημένων πολιτικών και μέτρων που θα συνεισφέρουν στην επίτευξη των στόχων του έτους 2050, με ακόμη μεγαλύτερη ένταση και ρυθμό εφαρμογής.

Πρέπει να επισημανθεί ότι το έτος 2030, το ελληνικό ενεργειακό σύστημα θα είναι ένα εντελώς νέο σύστημα και θα έχει επιτευχθεί μια ριζική αναδιάρθρωση του με έμφαση στις ΑΠΕ, στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, στην τελική χρήση, στην ενεργειακή ανακαίνιση ενός μεγάλου αριθμού κτιρίων, στην ενίσχυση και ανάπτυξη των ενεργειακών υποδομών, καθώς και στην πλήρη απένταξη του λιγνίτη από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, η οποία θα έχει ήδη επιτευχθεί νωρίτερα.

Η μετάβαση προς ένα σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που θα είναι σε μεγάλο βαθμό αποκεντρωμένο, βασιζόμενο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα απαιτήσει ένα ευφύστερο και ευέλικτο σύστημα, το οποίο θα βασίζεται στη συμμετοχή των καταναλωτών, στην αυξημένη διασυνδεσιμότητα, στη μεγαλύτερη συμμετοχή συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας διαφορετικού μεγέθους και τεχνολογιών, στη σύζευξη των ενεργειακών κλάδων και τομέων, στην ανταπόκριση από την πλευρά της ζήτησης και στην ψηφιοποιημένη διαχείριση. Επίσης, αυτή η ενεργειακή μετάβαση θα επηρεάσει ένα ευρύτερο σύνολο εθνικών και Ευρωπαϊκών πολιτικών, με στόχο την επίτευξη μιας κοινωνικά δίκαιης ενεργειακής και κλιματικής μετάβασης και με αποδοτικό από πλευράς κόστους τρόπο για το σύνολο της οικονομίας και της κοινωνίας.

Βασική συνιστώσα στο σχεδιασμό αποτελεί η μετάβαση αυτή να υλοποιηθεί με κοινωνικά δίκαιο τρόπο και να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της οικονομίας της χώρας. Η επιδίωξη αυτή απαιτεί κοινή δράση σε στρατηγικούς τομείς, όπως την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την καθαρή, ασφαλή και συνδεδεμένη κινητικότητα, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τον εξηλεκτρισμό και τη σύζευξη των τομέων, την ανταγωνιστική βιομηχανία και την κυκλική οικονομία, τις υποδομές και τις διασυνδέσεις, τη βιοοικονομία, καθώς και την αξιοποίηση φυσικών καταβολών άνθρακα και τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα για την αντιμετώπιση, όπου αυτό απαιτείται, των εναπομεινουσών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι νέες ενεργειακές τεχνολογίες ή ακόμη και καύσιμα που θα είναι διαθέσιμα με ανταγωνιστικούς όρους αγοράς, αποτελούν, σε κάθε περίπτωση, μια τεχνική προϋπόθεση για την περίοδο μετά το έτος 2030, η οποία θα κρίνει τελικά και τους σχετικούς ρυθμούς μετάβασης προς το έτος 2050 και την έμφαση που θα δοθεί ανά περίοδο ως προς την επίτευξη συγκεκριμένων ενδιάμεσων στόχων.

Όπως για τους στόχους του έτους 2030 απαιτείται παρακολούθηση της απόδοσης των συγκεκριμένων προτεραιοτήτων και μέτρων πολιτικής, που έχουν σχεδιαστεί και θα υλοποιούνται στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, έτσι και για την περίοδο 2030-2050 θα πρέπει να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση ειδικά των τεχνολογικών εξελίξεων ώστε να συνδιαμορφώνονται οι κατάλληλες πολιτικές και τα μέτρα που θα συνεισφέρουν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο στην επίτευξη των στόχων της μακροπρόθεσμης στρατηγικής για το έτος 2050.

Η μακροπρόθεσμη στρατηγική εξετάζει το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών που μπορούν να συμβάλουν στον εκσυγχρονισμό της οικονομίας και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών και αποτελεί μέσο συνεκτικής στρατηγικής και εφαρμογής διατομεακών μέτρων πολιτικής. Επιδιώκει να διασφαλίσει ότι η μετάβαση αυτή είναι κοινωνικά δίκαιη και ενισχύει την ανταγωνιστικότητα της οικονομίας και της βιομηχανίας, εξασφαλίζοντας θέσεις εργασίας υψηλής ποιότητας, αντιμετωπίζοντας παράλληλα και άλλες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Τα εκτιμώμενα οφέλη από τη μετάβαση σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το έτος 2050, είναι μεταξύ άλλων:

- η παραγωγική ανασυγκρότηση της χώρας στην κατεύθυνση καθαρών και σύγχρονων τεχνολογιών που ενισχύουν την κυκλική οικονομία, η οποία θα αξιοποιήσει μια σειρά προηγμένων λύσεων και θα διαμορφώσει νέα επιχειρηματικά μοντέλα.

- ο μετριασμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και η προώθηση μιας βιώσιμης βιοοικονομίας, με περαιτέρω αύξηση της παραγωγικότητας.
- η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας και της βιομηχανίας, μέσω της έρευνας και της καινοτομίας, με στόχο μια ψηφιοποιημένη, κυκλική οικονομία που εξασφαλίζει υψηλής ποιότητας θέσεις εργασίας και διατηρήσιμη ανάπτυξη στην Ευρώπη, δημιουργώντας παράλληλα συνέργειες με άλλες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Υπό το πρίσμα αυτό, η στήριξη του στόχου μιας κλιματικά ουδέτερης οικονομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2050 αποτελεί στρατηγική επιλογή της χώρας ώστε να επιτευχθούν οι κεντρικοί περιβαλλοντικοί στόχοι προς όφελος της κοινωνίας και να διασφαλιστεί ένα βιώσιμο και αειφόρο μέλλον για όλους μας.

Στο πλαίσιο αυτό θα πρέπει όμως να αναπτυχθούν και οι κατάλληλες πολιτικές στήριξης σε Ενωσιακό επίπεδο, με δίκαιη κατανομή των προσπάθειών και των πόρων των χρηματοδοτικών εργαλείων, αναδεικνύοντας τις ιδιαιτερότητες σε επίπεδο κρατών μελών τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και οικονομίας, ώστε τα παραγωγικά, οικονομικά και αναπτυξιακά οφέλη να είναι κοινά για όλους.

Στην **Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050 (ΜΣ50)** αναλύονται σενάρια για την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος και το πρότυπο κατανάλωσης στους τελικούς τομείς, με απώτερο στόχο την μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία έως το έτος 2050 χωρίς να παρουσιάζονται συγκεκριμένα εξειδικευμένα μέτρα. Τα εν λόγω σενάρια θα αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω συζήτησης και επεξεργασίας στο μέλλον, ώστε να επιλεγούν και τα κατάλληλα μέτρα πολιτικής και αντίστοιχες τεχνολογίες που θα αλλάξουν το μοντέλο λειτουργίας του συστήματος κατανάλωσης και παραγωγής.

Με επίκεντρο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, που θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί, τη διεύρυνση και τελικά τη μεγιστοποίηση της χρήσης των ΑΠΕ, ειδικά στην ηλεκτροπαραγωγή, την έμφαση σε τεχνολογίες και καύσιμα αποθήκευσης, σε εναλλακτικές τεχνολογίες του ενεργειακού και βιομηχανικού τομέα, καθώς και από την αλλαγή του συνολικού προτύπου κατανάλωσης στους τελικούς τομείς χρήσης θα είναι εφικτή η επίτευξη με το βέλτιστο τρόπο της ενεργειακής και κλιματικής μετάβασης που σχεδιάζεται στο πλαίσιο της ΜΣ50.

1 Η κλιματική ουδετερότητα της ΕΕ και οι στόχοι για το 2050

Στο πλαίσιο της διάσκεψης COP21 για το κλίμα, που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι τον Δεκέμβριο του 2015, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύθηκε να περιορίσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Ατθ-GHG) σε χαμηλά επίπεδα, όπως απαιτείται για να διατηρηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Στο πλαίσιο αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση ολοκλήρωσε το 2019 την έγκριση πακέτου πολιτικής με τίτλο «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», στο πλαίσιο του οποίου εκδόθηκε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα για την περίοδο μέχρι το 2030. Για την επίτευξη του στόχου για τους 2°C, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επίσημα υιοθετήσει στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 80% έως το 2050 συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990.

Από την άλλη πλευρά, η συμφωνία του Παρισιού αναφέρει ρητά ότι πρέπει να καταβληθούν οι βέλτιστες προσπάθειες για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε 1.5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, αναγνωρίζοντας ότι αυτό θα μειώσει σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί μηδενισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αμέσως μετά το 2050 και κατά το δεύτερο ήμισυ του αιώνα. Για τον σκοπό αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε, τον Νοέμβριο του 2018, μακροχρόνια στρατηγική, η οποία περιλαμβάνει σενάρια που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών το 2050 κατά 95% από τα επίπεδα του 1990 και περισσότερο. Με τους στόχους που είναι συμβατοί με τον 1.5°C επιδιώκεται το ενεργειακό σύστημα και η οικονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης να γίνει ουδέτερη ως προς το κλίμα μέχρι το 2050. Στη σχετική μελέτη της ΕΕ περιλαμβάνονται και σενάρια που προβλέπουν μείωση εκπομπών λίγο πάνω από το 80% το 2050, τα οποία νοούνται στο πλαίσιο των στόχων για τους 2°C. Τα σενάρια της ΕΕ διαφοροποιούνται μεταξύ τους αναφορικά με τις υποθέσεις σχετικά με την τεχνολογική εξέλιξη και τις προτεραιότητες των δράσεων για τη δραστική μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του ενεργειακού συστήματος μετά το 2030.

Η «ουδετερότητα ως προς το κλίμα» είναι ισοδύναμη με την επίτευξη μηδενικών συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, όπου μηδενικές εκπομπές νοούνται το άθροισμα θετικών και τυχόν αρνητικών εκπομπών. Η «ουδετερότητα ως προς το διοξείδιο του άνθρακα» είναι παρόμοια έννοια αλλά αναφέρεται μόνο στις εκπομπές CO₂. Η ουδετερότητα ως προς το κλίμα μίας ενεργειακής μορφής προϋποθέτει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε όλα τα στάδια παραγωγής, μετατροπής, μεταφοράς και χρήσης. Η οριστική αποθήκευση αερίων θερμοκηπίου, σε υπόγειους σχηματισμούς ή σε υλικά, θεωρείται ότι διασφαλίζει ουδετερότητα ως προς το κλίμα, ενώ η αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται από τον αέρα ή από βιομάζα θεωρείται ότι αποτελεί αρνητική εκπομπή. Τα αέρια θερμοκηπίου περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (ενεργειακός τομέας), το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται από βιομηχανικές διεργασίες (χωρίς καύση) και άλλα αέρια που εκπέμπονται από πλήθος διεργασιών. Ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται για λίγο κάτω από το 80% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. «Κλιματική ουδετερότητα» για τον ενεργειακό τομέα σημαίνει μηδέν καθαρές εκπομπές (δηλαδή αλγεβρικό άθροισμα θετικών και αρνητικών εκπομπών) από καύση ορυκτών καυσίμων. Η ορολογία «ανθρακούχες» εκπομπές ή ανθρακικό αποτύπωμα αναφέρονται στο διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται από καύση ορυκτών καυσίμων χωρίς σε αυτές τις έννοιες να περιλαμβάνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από ενώσεις οι οποίες θεωρούνται κλιματικά ουδέτερες, όπως η βιομάζα και οι συνθετικοί – κλιματικά ουδέτεροι – υδρογονάνθρακες.

Οι στόχοι για το κλίμα και την ενέργεια στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2030 περιλαμβάνουν μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (40-45% κάτω από τα επίπεδα του 1990), βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32.5% (μείωση πρωτογενούς και τελικής ενέργειας συγκριτικά με το σενάριο του 2007 για το έτος 2030 πριν από την οικονομική κρίση) και 32% μερίδιο συμμετοχής των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας. Τα μέτρα πολιτικής περιλαμβάνουν διάφορες τομεακές οδηγίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τις ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας και την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, μεταρρύθμιση του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας εκπομπών (EU-ETS), καθώς και μέτρα διακυβέρνησης στα οποία περιλαμβάνονται τα εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα. Στη σχετική ανάλυση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής όλα τα σενάρια για το έτος 2050 περιλαμβάνουν τους στόχους του πακέτου πολιτικής για το έτος 2030 χωρίς περαιτέρω μεταβολή.

2 Σκοπός της Μακροχρόνιας Στρατηγικής

Στο πλαίσιο της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενέργεια και το κλίμα τίθεται για κάθε χώρα-μέλος το ζήτημα του καθορισμού σε εθνικό επίπεδο της στόχευσης για το 2050 σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τόσο στο πλαίσιο της επιδίωξης για τους 2°C, όσο και προς την κλιματική ουδετερότητα του 1.5°C. Επιπλέον, τίθεται και για κάθε χώρα-μέλος το ζήτημα της ανάλυσης εναλλακτικών τρόπων-διαδρομών (σεναρίων) επίτευξης σε εθνικό επίπεδο των στόχων για τις εκπομπές το 2050, λαμβάνοντας υπόψη ότι απαιτείται βαθύς μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος.

Σκοπός της ΜΣ50 είναι η αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων και διαδρομών μετάβασης προς μία οικονομία που θα προσεγγίσει την κλιματική ουδετερότητα. Σκοπός των μέτρων και των πολιτικών είναι η δραστική μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 και η επεξεργασία δύο στρατηγικών, μίας που στοχεύει σε μείωση των εκπομπών, έτσι όπως απαιτείται στο πλαίσιο της επιδίωξης για τους 2°C, και μίας για την κλιματική ουδετερότητα που στοχεύει σε μείωση των εκπομπών για την επιδίωξη του 1.5°C.

Σύμφωνα με αναλύσεις, στο πλαίσιο του IPCC και της ΕΕ, η επιδίωξη των 2°C εξυπηρετείται αν η Ευρώπη μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μεταξύ 80 και 85% το 2050 από τα επίπεδα του 1990, ενώ η επιδίωξη του 1.5°C εξυπηρετείται με μείωση τουλάχιστον κατά 95% των εκπομπών στην Ευρώπη συγκριτικά με το έτος 1990. Για τις επιδιώξεις περιορισμού της ανόδου της θερμοκρασίας της γης σημασία έχει η συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, επομένως σημασία έχουν οι σωρευτικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το έτος 2050 και όχι μόνο οι εκπομπές του έτους 2050.

Η ανάλυση από την ΕΕ έχει δείξει ότι η μείωση εκπομπών στη Ευρώπη κατά 40-45% για το έτος 2030 και στη συνέχεια η γραμμική μείωση μέχρι το στόχο των 80-85% για το έτος 2050 συνεπάγεται σωρευτικές εκπομπές στη Ευρώπη σε επίπεδα συμβατά με την επιδίωξη των 2°C. Για την επιδίωξη του 1.5°C έχει γίνει κατ' αρχήν δεκτό στις αναλύσεις της ΕΕ ότι η γραμμική μείωση των εκπομπών από τη μείωση 40-45% για το έτος 2030, στο επίπεδο των 95% για το έτος 2050 αρκεί ώστε οι σωρευτικές εκπομπές να συνάδουν με το στόχο για τη θερμοκρασία.

Ίσως όμως οι στόχοι μείωσης των εκπομπών για το έτος 2030 γίνουν πιο φιλόδοξοι στο εγγύς μέλλον (ίσως 50-55% σύμφωνα με εξαγγελία της νέας Επιτροπής της ΕΕ) προκειμένου να είναι πιο σίγουρο ότι οι σωρευτικές εκπομπές στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2050 θα συνάδουν με την επιδίωξη του 1.5°C. Η αύξηση της φιλοδοξίας αυτής δεν επηρεάζει ουσιαστικά το ελληνικό ΕΣΕΚ και τους στόχους για το έτος 2030, καθώς, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί αναλυτικά στο κείμενο του ΕΣΕΚ, η σχετική μείωση εκπομπών που επιτυγχάνεται ικανοποιεί ακόμη και μια ενδεχόμενη αύξηση των κεντρικών ευρωπαϊκών στόχων. Στο παρόν κείμενο γίνεται η υπόθεση ότι η μείωση των εκπομπών από το 2030 έως το 2050 θα είναι τουλάχιστον γραμμική ώστε οι σωρευτικές εκπομπές να συνάδουν με τους θερμοκρασιακούς στόχους.

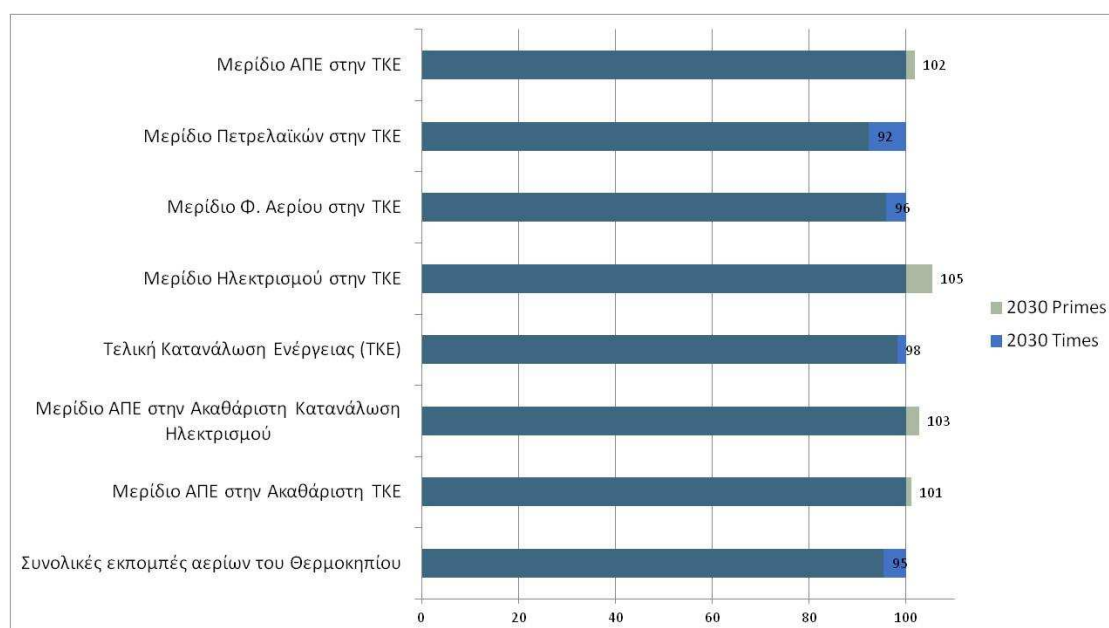
Η ανάλυση των λύσεων και των ενδεικτικών διαδρομών έχει σκοπό να εκτιμήσει τις δυνατότητες μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος σε εθνικό επίπεδο και όχι να αποφασίσει μία συγκεκριμένη λύση μεταξύ αυτών που εξετάζονται. Έτσι η ΜΣ50 περιορίζεται σε συγκριτική μελέτη σεναρίων και εξ' αυτών τεκμηριώνει τη σκοπιμότητα προτάσεων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 στη χώρα στο πλαίσιο των 2°C και του 1.5°C.

Όλα τα σενάρια της ΜΣ50 θεωρούν ως δεδομένη την επίτευξη των στόχων του ΕΣΕΚ μέχρι το έτος 2030, υποθέτουν πλήρη εφαρμογή των προτεραιοτήτων και μέτρων πολιτικής του ΕΣΕΚ και δεν περιλαμβάνουν επιπλέον μέτρα για την περίοδο 2020-2030.

Τονίζεται ότι η παρούσα έκθεση και η σχετική μελέτη με τα μοντέλα έχει ως σκοπό την ανάλυση της μετάβασης προς μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία κατά το διάστημα 2030-2050 και δεν έχει ως αντικείμενο την περίοδο 2020-2030, για την οποία η σχετική πολιτική καθορίζεται στην έκθεση του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Η ανάλυση της μετάβασης προς κλιματικά ουδέτερη οικονομία μέχρι το 2050 κατέδειξε ότι δεν απαιτείται μεταβολή της πολιτικής και των στόχων που έθεσε το ΕΣΕΚ για τον ορίζοντα μέχρι το 2030. Σχετικά με τις αριθμητικές προβλέψεις για το έτος 2030 (και την περίοδο 2020-2030) διευκρινίζεται ότι στο πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής η ενεργειακή προσομοίωση πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά με την εφαρμογή του ενεργειακού μοντέλου PRIMES και ως εκ τούτου όλες οι τιμές που παρουσιάζονται για τις επιμέρους χρονικές περιόδους αναφέρονται σε αποτελέσματα μόνο του εν λόγω ενεργειακού μοντέλου.

Ωστόσο, όπως αποτυπώνεται και στο κείμενο του ΕΣΕΚ, οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο ενεργειακών μοντέλων αναφορικά με την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος έως το έτος 2030, είναι οριακές (παρουσιάζονται ποιοτικά στο διάγραμμα 1 που ακολουθεί) και δεν επηρεάζουν την ανάλυση για την περίοδο 2030-2050.

Σχήμα 1: Κανονικοποιημένες διαφορές ενεργειακών μοντέλων για το έτος 2030 (ΕΣΕΚ)



Το έτος 2030, ως σημείο εκκίνησης του ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 2030-2050, δεν καθορίζει τις πολιτικές και τα μέτρα για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων του 2050, εφόσον έχουν επιτευχθεί οι στόχοι του ΕΣΕΚ. Ωστόσο, το μείγμα των μέτρων πολιτικής και των σχετικών τεχνολογιών που τελικά συνέβαλαν στην επίτευξη των στόχων για το έτος 2030 θα αποτελεί το όχημα για τον σχεδιασμό νέων και την ενίσχυση του ρυθμού εφαρμογής υφιστάμενων μέτρων πολιτικής. Στο πλαίσιο αυτό η ΜΣ50 δεν προκρίνει ή αποκλείει τεχνολογίες και πολιτικές αλλά αντίθετα αναλύει τις προκλήσεις, τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες του ενεργειακού συστήματος για την επίτευξη των στόχων του 2050.

3 Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Η μακροχρόνια στρατηγική έχει ως σαφή στόχο την προσέγγιση κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050, αλλά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με αβέβαιη εξέλιξη, κυρίως αναφορικά με το μελλοντικό κόστος τεχνολογιών που σήμερα είναι ακόμα εμπορικά και βιομηχανικά ανώριμες, καθώς και σχετικά με τη δυνατότητα επίτευξης πολύ φιλόδοξων στόχων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τον εξηλεκτρισμό και τις ΑΠΕ. Λόγω των αβεβαιοτήτων αυτών, δεν είναι δυνατόν να προταθεί ένα μόνο σχέδιο στρατηγικής με βελτιστοποιημένη κατανομή της προσπάθειας ανά τομέα και τεχνολογία.

Κατά συνέπεια, η βελτιστοποίηση της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών ανά τομέα και η ανάπτυξη τεχνολογιών εξαρτώνται από υποθέσεις σχετικά με τη μελλοντική έκβαση των αβεβαιοτήτων. Για το σκοπό αυτό, οι υποθέσεις σχετικά με τις αβεβαιότητες οργανώνονται σε σενάρια, τα οποία ποσοτικοποιούνται με τη χρήση του ενεργειακού μοντέλου. Λόγω των αβεβαιοτήτων, η σύγκριση των σεναρίων μεταξύ τους δεν επιτρέπει την επιλογή ενός από αυτά ως προτιμητέου, αλλά προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την αξιολόγηση των στρατηγικών προτεραιοτήτων και των εναλλακτικών λύσεων ανάλογα και με την έκβαση των αβεβαιοτήτων.

Με σκοπό τον προσδιορισμό βασικών και αδιαμφισβήτητων προτεραιοτήτων πολιτικής, ανεξάρτητα από την έκβαση των αβεβαιοτήτων, γίνεται ποσοτική εκτίμηση και ενός σεναρίου που περιλαμβάνει μόνο τις βασικές προτεραιότητες πολιτικής, αναπτυγμένων όμως σε μεγάλη έκταση και ένταση. Αυτές όμως δεν επαρκούν για την πλήρη επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, αλλά περιλαμβάνονται αναλλοίωτες σε όλα τα σενάρια στα οποία αναπτύσσονται επιπλέον μέτρα πολιτικής, διαφορετικά κατά σενάριο, στο βαθμό που χρειάζεται για την επίτευξη των στόχων.

3.2 Σχεδιασμός σεναρίων

Τα σενάρια που αφορούν στους τρόπους επίτευξης δραστηκής μείωσης των αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 καθορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη αφενός εναλλακτικές υποθέσεις σχετικά με τις τεχνολογίες, αφετέρου στρατηγικές προτεραιότητες ανά τομέα.

Όλα τα σενάρια της ΜΣ50 θεωρούν δεδομένη την επίτευξη του ΕΣΕΚ μέχρι το έτος 2030 και δεν διαφέρουν μεταξύ τους κατά τη δεκαετία 2020-2030. Όμως το ΕΣΕΚ δεν ενσωματώνει περαιτέρω στόχους είτε πρόσθετες προτεραιότητες και μέτρα πολιτικής μετά το έτος 2030. Είναι κατά συνέπεια εύλογο να αναλυθεί κατ' αρχήν ένα σενάριο το οποίο θα προβλέπει τη συνέχιση και ενίσχυση των πολιτικών του ΕΣΕΚ μετά το 2030. Πρόκειται για τις πολιτικές που ενισχύουν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τις ΑΠΕ και τον εξηλεκτρισμό.

Για λόγους απλότητας, το σενάριο αυτό περιγράφεται ως ΕΣΕΚ-2030 και ουσιαστικά αναφέρεται σε σενάριο που υπάρχει απουσία στόχων και πρόσθετων μέτρων πολιτικής μετά το έτος 2030. Αντίθετα, το σενάριο που επιδιώκει δραστηκή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το έτος 2050 οφείλει κατ' αρχήν να προβλέψει εφαρμογή των πολιτικών του ΕΣΕΚ με μεγαλύτερη ένταση μετά το 2030 συγκριτικά με τη δεκαετία 2020-2030. Ονομάζουμε το σενάριο αυτό, σενάριο Βασικών Πολιτικών ή για συντομία ΕΣΕΚ-2050.

Η εφαρμογή των μέτρων πολιτικής του ΕΣΕΚ κατά τη δεκαετία 2020-2030 στο πλαίσιο επίτευξης των στόχων του ΕΣΕΚ θα καταστήσει σχετικά εύκολη τη συνέχιση και την πιο εντατική εφαρμογή τους και μετά το έτος 2030. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, οι ΑΠΕ και ο εξηλεκτρισμός θα έχουν γίνει ώριμες, κυρίαρχες και αποδοτικές συνιστώσες για το μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος και οι σχετικές τεχνολογίες θα έχουν επιτύχει βιομηχανική ωριμότητα. Επειδή οι μέγιστες δυνατότητες των μεταβολών αυτών δεν θα έχουν εξαντληθεί στη δεκαετία 2020-2030, θα υπάρχει περαιτέρω δυναμικό για εφαρμογή κατά την περίοδο 2030-2050. Είναι εύλογο επομένως να χαρακτηρισθούν οι πολιτικές αυτές και η ανάπτυξη των σχετικών τεχνολογιών ως βασικές και αδιαμφισβήτητες ως προς

τη χρησιμότητά τους στο πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής για την ενέργεια και το κλίμα. Η ανάλυση προσδίδει βεβαιότητα στον ισχυρισμό ότι όποια και να είναι η βέλτιστη στρατηγική για την περίοδο 2030-2050, δεν θα υπάρχει λόγος να μετανιώσει κανείς για την εντατική και φιλόδοξη εφαρμογή των πολιτικών αυτών κατά την περίοδο 2030-2050. Δηλαδή, οι βασικές προτεραιότητες πολιτικής αποτελούν επιλογή “no-regrets”.

Πρόκειται για τις εξής κυρίως προτεραιότητες πολιτικής (σενάριο «βασικών πολιτικών – ΕΣΕΚ-2050»), οι οποίες θεωρούνται αναλλοίωτες σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής:

1. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς, με έμφαση σε μεγάλης έκτασης ενεργειακή αναβάθμιση των κατοικιών και κτιρίων,
2. Ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε όλους τους τομείς και ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής παράλληλα με μηδενισμό των εκπομπών διοξειδίου άνθρακα από καύση στερεών καυσίμων στη ηλεκτροπαραγωγή,
3. Εξηλεκτρισμός των μεταφορών αλλά και της θερμότητας παράλληλα με τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της ηλεκτρικής ενέργειας,
4. Ανάπτυξη εγχώριων καυσίμων και αερίου από βιομάζα με προηγμένες τεχνικές,
5. Περαιτέρω επέκταση των διασυνδέσεων για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου και ολοκλήρωση της σύζευξης των αγορών στην ευρύτερη περιοχή.

Η ποσοτική εκτίμηση του σεναρίου «Βασικών πολιτικών – ΕΣΕΚ-2050» (scenario no-regrets) έχει δείξει ότι ακόμα και αν εξαντληθεί το εύλογο οικονομικά και τεχνικά εύρος του δυναμικού τους, θα μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 αλλά δεν θα αρκήσει το δυναμικό αυτό για την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο πλαίσιο των στρατηγικών για τους 2°C ή και τον 1.5°C. Κατά συνέπεια θα απαιτηθούν επιπλέον πολιτικές που θα βασίζονται σε μετασχηματισμούς και τεχνολογίες που δεν είναι ακόμα ώριμες σήμερα. Η ανάλυση αυτών των εναλλακτικών λύσεων και η σύγκριση μεταξύ τους αποτελεί το κύριο αντικείμενο της μελέτης για την μακροχρόνια στρατηγική. Οι βασικές πολιτικές θεωρούνται κοινές σε όλα τα σενάρια.

Τα σενάρια που θα επιτύχουν τους στόχους μείωσης των αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050, και τα οποία αποτελούν σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος του στόχου μείωσης των εκπομπών. Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει περαιτέρω διαφορετικά σενάρια, τα οποία ορίζονται σχετικά με την κύρια προτεραιότητα της στρατηγικής αναφορικά με τους μετασχηματισμούς και τις τεχνολογίες που προκρίνονται επιπλέον των βασικών προτεραιοτήτων πολιτικής.

Τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής ορίζονται ως εξής:

- Σενάριο EE2 (Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για τους 2°C – Energy Efficiency and Electrification for 2°C)
- Σενάριο NC2 (Νέοι ενεργειακοί φορείς για τους 2°C – New energy carriers for 2°C)
- Σενάριο EE1.5 (Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για τον 1.5°C – Energy Efficiency and Electrification for 1.5°C)
- Σενάριο NC1.5 (Νέοι ενεργειακοί φορείς για τον 1.5°C – New energy carriers for 1.5°C)

Τα σενάρια EE θεωρούν ότι είναι οικονομικά και τεχνολογικά αβέβαιη η ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων νέων ενεργειακών φορέων (δηλαδή προϊόντων) που θα υποκαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα και επομένως προωθούν σε ιδιαίτερα υψηλό βαθμό τον εξηλεκτρισμό των ενεργειακών χρήσεων σε όλους τους τομείς και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης περιλαμβανομένων μετασχηματισμών προς την κατεύθυνση της κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία και των ήπιων μέσων στις μεταφορές. Τα σενάρια EE περιλαμβάνουν επίσης ανάπτυξη βιοκαυσίμων και βιοαερίου σε μεγάλη έκταση για την υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων σε τομείς όπου δεν είναι εφικτός ο πλήρης εξηλεκτρισμός. Για την κλιματική ουδετερότητα είναι προφανές ότι η ηλεκτροπαραγωγή πρέπει να είναι μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος και επομένως θα βασίζεται σε μεγάλης έκτασης ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Τα σενάρια NC, αντίθετα, κάνουν την υπόθεση ότι κατάλληλες πολιτικές σε Ευρωπαϊκό επίπεδο διασφαλίζουν τη σταδιακή ωρίμανση τεχνολογιών και μέσων που παράγουν υδρογόνο, βιοαέριο και συνθετικό μεθάνιο με κλιματικά ουδέτερες προδιαγραφές ώστε να επιτευχθεί δραστική μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του διανεμόμενου αερίου. Παρά ταύτα, διατηρούνται φιλόδοξες πολιτικές για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τον εξηλεκτρισμό θερμότητας και μεταφορών στα σενάρια NC γιατί αλλιώς ο όγκος ηλεκτροπαραγωγής και κατά συνέπεια οι ΑΠΕ θα αύξαναν σε μη εφικτά επίπεδα δεδομένου ότι μόνο μέσω ηλεκτρισμού μπορεί πρακτικά να παραχθεί κλιματικά ουδέτερο υδρογόνο και συνθετικό μεθάνιο. Οι στόχοι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τον εξηλεκτρισμό είναι στα σενάρια NC ελαφρά μικρότεροι από τα σενάρια ΕΕ. Ταυτόχρονα, οι εκπομπές από τη χρήση καυσίμων μειώνονται στα σενάρια NC μέσω της χρήσης αερίων και υδρογονανθράκων μηδενικού ή ελαχίστου ανθρακικού αποτυπώματος. Στα σενάρια ΕΕ οι εκπομπές αυτές αποφεύγονται λόγω κυρίως της πολύ φιλόδοξης βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, του εξηλεκτρισμού αλλά και της αυξημένης χρήσης βιομάζας.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει περιληπτικά τις υποθέσεις σχεδιασμού των σεναρίων.

Πίνακας 1: Σχεδιασμός σεναρίων για το ΜΣ50

Σενάρια						
Παράμετροι διαμόρφωσης σεναρίων	ΕΣΕΚ-2030	Βασικές Πολιτικές (ΕΣΕΚ-2050)	ΕΕ2	ΕΕ1.5	NC2	NC1.5
	2030-2050					
Βασικές πολιτικές ΕΣΕΚ	Επιβράδυνση μετά το έτος 2030	Επιτάχυνση προτεραιοτήτων πολιτικής ΕΣΕΚ και επέκταση μετά το έτος 2030				
Επιπλέον μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον μέτρα εξηλεκτρισμού θερμότητας και μεταφορών	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον μέτρα για βιοκαύσιμα	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον μέτρα για βιοαέριο	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο
Κλιματικά ουδέτερο υδρογόνο και μεθάνιο	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο

Όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής (δηλαδή ΕΕ2, ΕΕ1.5, NC2 και NC1.5) περιλαμβάνουν τεχνολογίες, μετασχηματισμούς και πολιτικές που έχουν ανατρεπτικά καινοτόμο χαρακτήρα (disruptive innovation) μεταβάλλοντας συμβατικές πρακτικές.

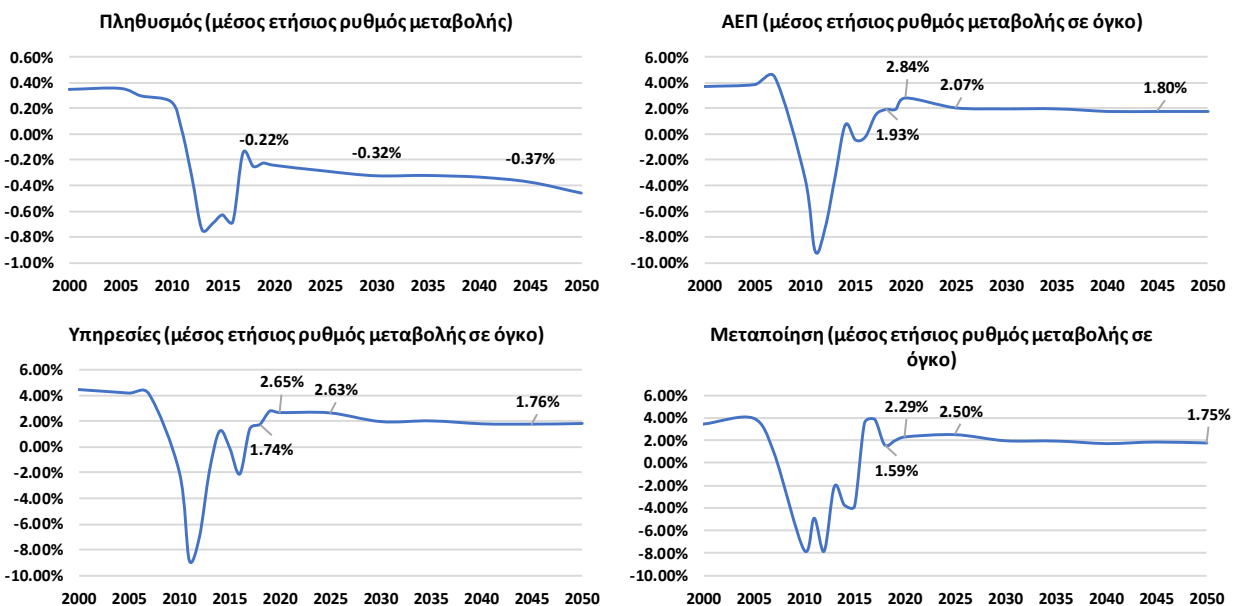
Οι βασικές πολιτικές είναι κοινές σε όλα τα σενάρια υποθέτοντας ότι εφαρμόζονται σε μεγάλη έκταση και ένταση κατά την περίοδο 2020-2030, αλλά δεν επαρκούν για την επίτευξη των κλιματικών στόχων για το έτος 2050, χωρίς τις καινοτόμες πολιτικές και τεχνολογίες, οι οποίες αναπτύσσονται και εφαρμόζονται στο χρονικό διάστημα 2030-2050.

Τα σενάρια ΕΕ δεν αναπτύσσουν κλιματικά ουδέτερα καύσιμα (συνθετικά) για τελική κατανάλωση, αλλά προβλέπουν επέκταση της εξοικονόμησης και του εξηλεκτρισμού σε σημείο που είναι πέραν

συμβατικών πρακτικών (π.χ. γενίκευση κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, κυκλική οικονομία, διαμοιρασμός χρήσης οχημάτων, εξηλεκτρισμός διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας στη βιομηχανία, κλπ.)

Οι παραλλαγές των σεναρίων που εξυπηρετούν το στόχο του 1.5°C σχεδιάσθηκαν έτσι ώστε να μειώνονται στο μέγιστο βαθμό οι εκπομπές όλων των αερίων του θερμοκηπίου σε όλους τους τομείς. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσονται τα μέτρα με τη μέγιστη δυνατή ένταση αλλά και περιλαμβάνεται η χρήση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης ή χρήσης (CCUS – carbon capture use and storage) διοξειδίου του άνθρακα, όμως σε περιορισμένη έκταση και μόνο για τις εκπομπές τομέων που δεν μπορούν να μειωθούν με άλλο πρόσφορο τρόπο. Αντίθετα, στα σεσάρια που εξυπηρετούν το στόχο των 2°C δεν περιλαμβάνονται τεχνολογίες CCUS και παραμένει ένας όγκος εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου επιλεκτικά στους τομείς εκείνους όπου η περαιτέρω μείωσή τους είναι δύσκολη ή πολύ δαπανηρή.

Σχήμα 2: Σενάριο οικονομικής και δημογραφικής εξέλιξης



Με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου επιτυγχάνεται οικονομική και τεχνική βελτιστοποίηση της κατανομής της μείωσης των εκπομπών ανά τομέα, ανάλογα βέβαια και με τις υποθέσεις σχετικά με τις τεχνολογίες και τις πολιτικές σε κάθε σενάριο.

Το σενάριο βασικών πολιτικών (ΕΣΕΚ-2050) δεν αποτελεί σενάριο της μακροχρόνιας στρατηγικής αλλά χρησιμεύει για να προσδιορισθεί με σαφήνεια το εύρος των βασικών και αδιαμφισβήτητων προτεραιοτήτων πολιτικής ώστε να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές λύσεις για τις επιπλέον πολιτικές προτεραιότητες που δύναται να εφαρμοστούν για την ποσοτική μείωση των εκπομπών που απαιτείται για την επίτευξη των κλιματικών στόχων για το έτος 2050.

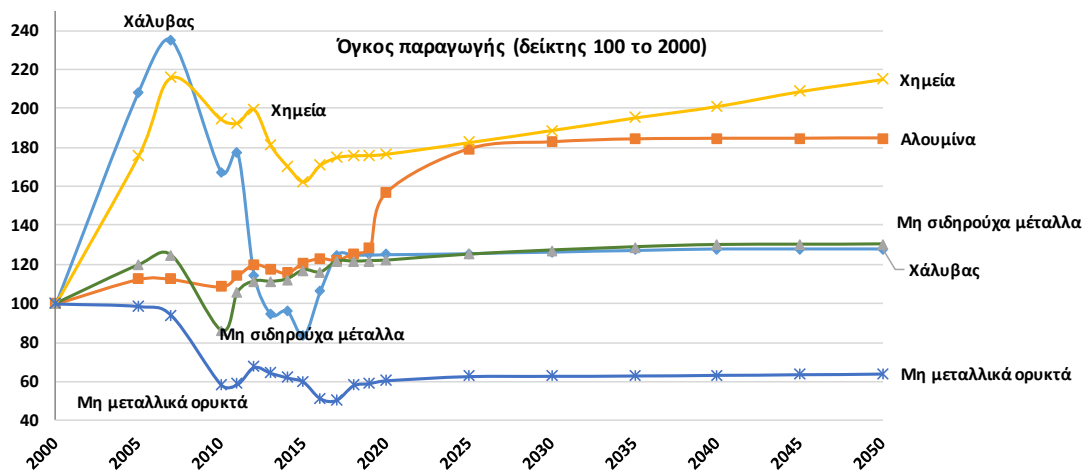
3.3 Επισκόπηση υποθέσεων

Όλα τα σεσάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής θεωρούν ως δεδομένο το ίδιο σενάριο μακροοικονομικής, δημογραφικής και κλαδικής ανάπτυξης της χώρας, το οποίο βασίζεται σε σενάριο μεσο- και μακροχρόνιας ανάπτυξης της Ελληνικής οικονομίας και εκπονήθηκε από το Υπουργείο Οικονομικών. Το σενάριο αυτό χρησιμοποιήθηκε και για το ΕΣΕΚ.

Στο πλαίσιο αυτό, θεωρείται ότι η Ελληνική οικονομία αναπτύσσεται με σχετικά γρήγορο ρυθμό σε βραχυχρόνιο ορίζοντα. Ο ρυθμός ανάπτυξης παραμένει θετικός αλλά μετριάζεται σε μεσοχρόνιο ορίζοντα και συγκλίνει μακροχρόνια προς ένα ετήσιο μέσο ρυθμό αύξησης του ΑΕΠ (σε όγκο) λίγο κάτω από 1.8% ετησίως. Οι μέσοι ρυθμοί ανάπτυξης των τομέων υπηρεσιών και μεταποίησης είναι παρόμοιοι, και κατά συνέπεια η ανάπτυξη της οικονομίας κατά κλάδο παραμένει αρκετά σταθερή στο μέλλον με προεξάρχουσα θέση των υπηρεσιών (περίπου 80%) στο σύνολο της προστιθέμενης αξίας.

Η εξέλιξη των καταναλώσεων ενεργοβόρων βιομηχανιών εξαρτάται από τον όγκο παραγωγής. Γίνεται η υπόθεση ότι στους κλάδους αυτούς η μεταβολή του όγκου παραγωγής στο μέλλον ακολουθεί με σταδιακά μειωμένο ρυθμό την μεταβολή της προστιθέμενης αξίας των αντίστοιχων κλάδων. Η απόκλιση των ρυθμών οφείλεται σε αύξηση της παραγωγικότητας της ενέργειας αλλά και της σταδιακής στροφής της παραγωγής προς προϊόντα υψηλότερης ποιότητας και πιο εξειδικευμένα, επομένως μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας ανά μονάδα όγκου παραγωγής.

Σχήμα 3: Σενάριο εξέλιξης όγκου παραγωγής ενεργοβόρων βιομηχανιών

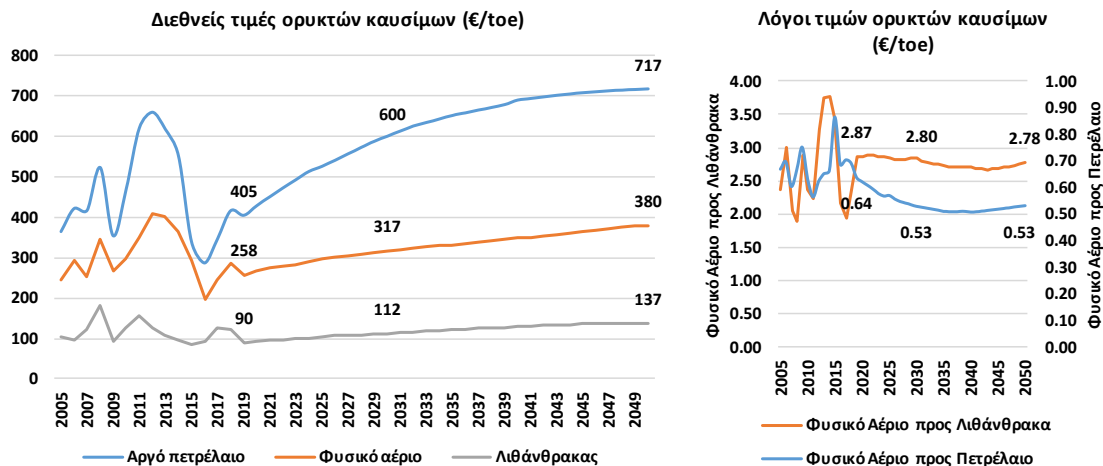


Τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής θεωρούν επίσης το ίδιο σενάριο μελλοντικής εξέλιξης των διεθνών τιμών φυσικού αερίου και πετρελαίου, όπως και στο ΕΣΕΚ. Οι τιμές αυξάνονται ελαφρά μέχρι το 2030 και λίγο περισσότερο μετά το 2030. Το σενάριο τιμών προβλέπει σταδιακή αποδέσμευση των τιμών του φυσικού αερίου από τον ρυθμό μεταβολής των τιμών πετρελαίου, ως αποτέλεσμα κυρίως της αυτόνομης διαμόρφωσης της αγοράς του υδρογονοποιημένου φυσικού αερίου.

Τα σενάρια θεωρούν ότι ο μηχανισμός σταθεροποίησης (market stability reserve) που θεσπίστηκε πρόσφατα για το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (EU ETS) στην ΕΕ θα προσαρμοσθεί μετά το έτος 2030 ώστε να μειώσει κατάλληλα τη διαθεσιμότητα δικαιωμάτων ώστε να επιτευχθεί σχεδόν μηδενισμός των εκπομπών προ του 2050 στους τομείς που υπάγονται στο ETS, ιδίως στους τομείς της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διανεμόμενης θερμότητας και βιομηχανικού ατμού. Οι τιμές μετά το έτος 2030 είναι σαφώς υψηλότερες στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής συγκριτικά με το σενάριο ΕΣΕΚ. Αναμένεται ότι οι τιμές διοξειδίου του άνθρακα θα αυξηθούν υπέρμετρα μετά το έτος 2030 στο πλαίσιο των πολιτικών που θα υιοθετηθούν στην ΕΕ για την προσέγγιση κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050, ώστε οι τιμές να ευθυγραμμίζονται με το οριακό κόστος μείωσης των ελάχιστων εκπομπών διοξειδίου άνθρακα που θα απομένουν προς εξάλειψη στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα. Η εξάλειψη των ελάχιστων αυτών εκπομπών θα έχει αυξανόμενο οριακό κόστος, όπως είναι εύλογο, και προφανώς η επίπτωση στο μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής θα είναι αμελητέα παρά την υψηλή τιμή των δικαιωμάτων αφού οι εναπομένουσες εκπομπές θα είναι ελάχιστες. Κατάλληλη ενίσχυση των ρυθμίσεων του μηχανισμού σταθεροποίησης σχετικά

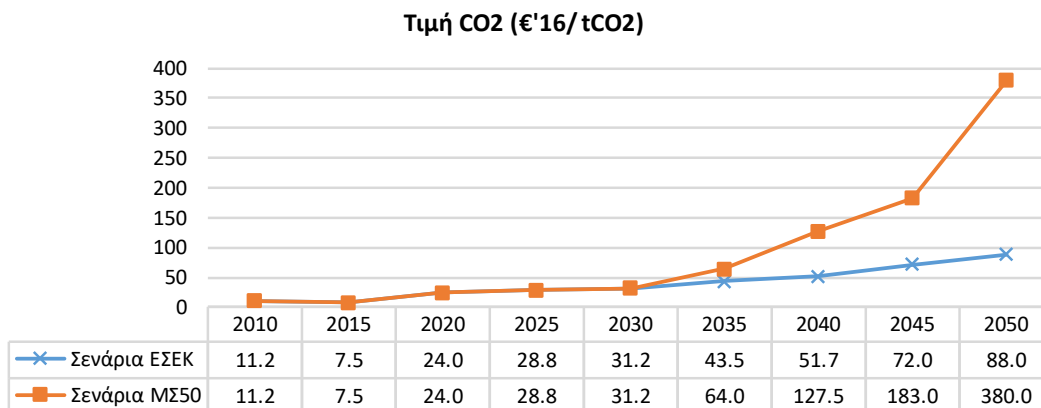
με το ρυθμό απόσυρσης δικαιωμάτων εκπομπής μετά το 2030 θα αρκεί ώστε οι τιμές της αγοράς που εκφράζουν τη σπανιότητα των δικαιωμάτων εκπομπής να ευθυγραμμισθούν με το οριακό κόστος εξάλειψης των εκπομπών. Η προσαρμογή του μηχανισμού σταθεροποίησης αποτελεί βασικό μοχλό για τη διευκόλυνση του ρόλου της ηλεκτρικής ενέργειας ως μέσο μείωσης των εκπομπών σε χρήσεις θερμότητας και κίνησης ενώ στο μεταξύ η ηλεκτροπαραγωγή έχει προσεγγίσει την κλιματική ουδετερότητα.

Σχήμα 4: Σενάριο εξέλιξης διεθνών τιμών ορυκτών καυσίμων (μέσες τιμές εισαγωγής χωρίς κόστος μεταφοράς προς σημεία κατανάλωσης, κόστος αποθήκευσης και εξισορρόπησης)



Λόγω αύξησης των τιμών διοξειδίου του άνθρακα, και δεδομένης της σαφώς μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή, το μέσο κόστος καυσίμου ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων φυσικού αερίου είναι μικρότερο αυτού μονάδων άνθρακα σε όλη την περίοδο από τις αρχές της δεκαετίας του 2020 έως το 2050.

Σχήμα 5: Σενάριο εξέλιξης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ στο EU ETS



Τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής υποθέτουν ότι το μέσο κόστος κεφαλαίου για τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής θα είναι 8.5% (WACC) και 7.5% για τις υποδομές δικτύων, ενώ για τους τομείς της ζήτησης ενέργειας το επιτόκιο προεξόφλησης για την επιλογή επενδύσεων εξοικονόμησης ενέργειας και αγοράς συσκευών και οχημάτων είναι 10% (με διακύμανση από 15-8% ανάλογα με την εισοδηματική κατηγορία στον τομέα των νοικοκυριών).

Περίληψη των υποθέσεων σχετικά με το μελλοντικό κόστος και τις αποδόσεις των ενεργειακών τεχνολογιών σε διάφορους τομείς ζήτησης και προσφοράς ενέργειας δίδεται σε παράρτημα.

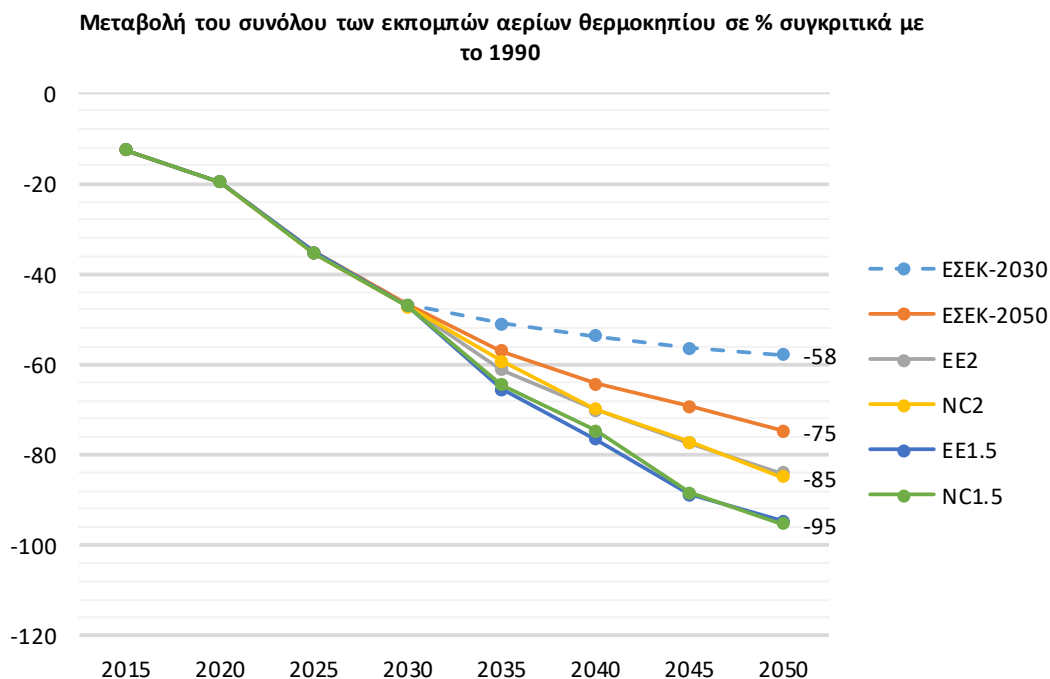
4. Ποσοτικά αποτελέσματα σεναρίων

4.1 Συνολική επισκόπηση των σεναρίων

4.1.1 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επιβράδυνση των πολιτικών μετά το 2030, όπως υπέθεσε το σενάριο ΕΣΕΚ-2030, έχει ως αποτέλεσμα να ανακοπεί η τάση μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, η οποία ήταν θεαματική κατά την περίοδο 2020-2030, χάρη στους στόχους και στην εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων πολιτικής του ΕΣΕΚ μέχρι το έτος 2030.

Σχήμα 6: Σύνολο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια για την Ελλάδα



Το σενάριο ΕΣΕΚ-2050 μειώνει περαιτέρω τις εκπομπές μετά το έτος 2030 αλλά δεν καταφέρνει να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε επιθυμητά επίπεδα για το έτος 2050. Η συνέχιση με πιο εντατικούς ρυθμούς των μέτρων πολιτικής του ΕΣΕΚ μετά το έτος 2030 επιφέρει μείωση των εκπομπών για το έτος 2050 σε επίπεδα σαφώς μεγαλύτερα από το σενάριο ΕΣΕΚ-2030 και για το λόγο αυτό θεωρείται αυτονόητη και επιβεβλημένη η πιο εντατική και εκτεταμένη εφαρμογή των μέτρων αυτών στην περίοδο μετά το έτος 2030. Πρόκειται για τις πολιτικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, ανάπτυξης των ΑΠΕ και του εξηλεκτρισμού που πρέπει να εντατικοποιηθούν σημαντικά μετά το έτος 2030. Ωστόσο συμπέρασμα και από αυτό το σενάριο είναι ότι τα συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής δεν επαρκούν για την επίτευξη των κλιματικών στόχων για το έτος 2050.

Τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής που εξυπηρετούν το στόχο των 2°C επιτυγχάνουν μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου περίπου 85% από τα επίπεδα του έτους 1990, ενώ τα σενάρια που εντάσσονται στο στόχο του 1.5°C επιτυγχάνουν μείωση περίπου 95% για το έτος 2050. Συγκριτικά το σενάριο ΕΣΕΚ-2050 επιτυγχάνει μείωση λίγο κάτω από 75% ενώ το σενάριο ΕΣΕΚ-2030 λίγο κάτω από 60%.

Η μείωση των εκπομπών κατά το διάστημα 2030-2050 εξελίσσεται σχεδόν γραμμικά σε όλα τα σενάρια. Το 2040 οι μειώσεις κυμαίνονται μεταξύ 75% περίπου στα σενάρια του 1.5°C και 70% στα σενάρια των 2°C. Η καθυστέρηση της ωρίμανσης των κλιματικά ουδέτερων καυσίμων εξηγεί τη μικρότερη

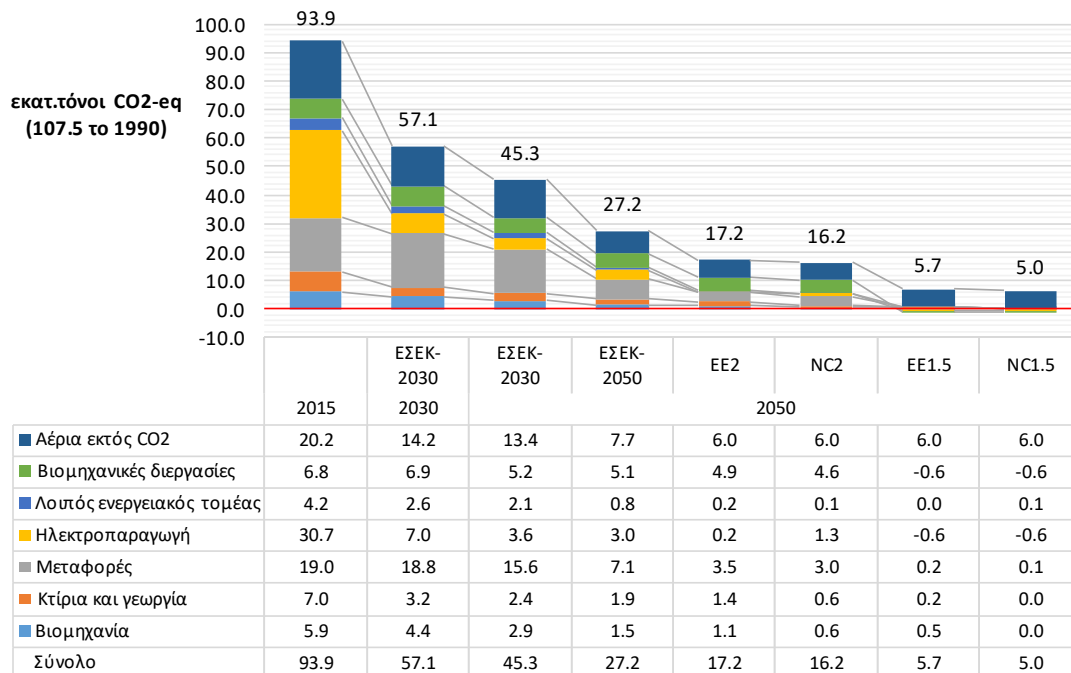
μείωση εκπομπών το 2040 στα σενάρια NC συγκριτικά με τα σενάρια ΕΕ, στα οποία ο εξηλεκτρισμός και η εξοικονόμηση ενέργειας, μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, είναι ώριμες νωρίτερα. Το σενάριο βασικών πολιτικών ΕΣΕΚ-2050 πετυχαίνει σημαντική μείωση το 2040, αλλά αδυνατεί να συνεχίσει τον ίδιο ρυθμό μείωσης εκπομπών μακροχρόνια.

4.1.2 Διάρθρωση των εκπομπών ανά τομέα

Τα αποτελέσματα σχετικά με τη διάρθρωση των εκπομπών που συνεχίζουν να εκλύονται στην ατμόσφαιρα δείχνουν ότι οι τομείς που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσκολία μείωσης των εκπομπών είναι οι εξής κατά σειρά σπουδαιότητας:

- Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου εκτός διοξειδίου άνθρακα και οι εκπομπές διοξειδίου άνθρακα από βιομηχανικές διεργασίες (χωρίς καύση).
- Οι εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές από οχήματα, πλοία και αεροσκάφη.
- Οι εκπομπές από την καύση μικρών σχετικά ποσοτήτων φυσικού αερίου σε θερμικές χρήσεις στα κτίρια και στη βιομηχανία.
- Οι εκπομπές από την καύση μικρών σχετικά ποσοτήτων φυσικού αερίου σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες κυρίως χρησιμεύουν στην παροχή εφεδρειών και εξισορρόπηση μεταβλητών ΑΠΕ.

Σχήμα 7: Διάρθρωση ανά τομέα των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα σενάρια για την Ελλάδα



Η δραστική μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στη γεωργία-κτηνοτροφία και σε άλλες χρήσεις, όπου οι εκπομπές δεν οφείλονται σε καύση ορυκτών καυσίμων, είναι δύσκολη χωρίς εξειδικευμένες και στοχευμένες πολιτικές. Η μείωση θα είναι αποτέλεσμα υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών στις περισσότερες περιπτώσεις ή σημαντικών μεταβολών της δομής των διεργασιών. Τα σενάρια ΕΣΕΚ υποθέτουν μικρή παρέμβαση στους τομείς αυτούς και επομένως επιτυγχάνουν μόνο μικρή μείωση των εκπομπών. Αντίθετα, τα λοιπά σενάρια υποθέτουν σημαντικές παρεμβάσεις, οι οποίες είναι φιλόδοξες ήδη στα σενάρια των 2°C, ενώ εξαντλούν τις δυνατότητες στο πλαίσιο των σεναρίων του 1.5°C. Παρά ταύτα, ακόμα και με την εξάντληση των δυνατοτήτων, σύμφωνα τουλάχιστον με τις

σημερινές γνώσεις και δεδομένα, παραμένουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ιδίως στους τομείς γεωργίας-κτηνοτροφίας. Η αναλυτική παρουσίαση των σχετικών πολιτικών και τεχνολογιών στους τομείς αυτούς εκφεύγει του σκοπού της παρούσας έκθεσης.

Η δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου άνθρακα από βιομηχανικές διεργασίες (χωρίς καύση) χρειάζεται την εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης και στη συνέχεια χρήσης ή αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα. Τα σενάρια υποθέτουν εξάντληση των δυνατοτήτων άλλων παρεμβάσεων, όπως μεταβολές σε διεργασίες και νέα υλικά, προτού εφαρμοσθούν τεχνικές δέσμευσης των εκπομπών. Πάντως, οι σχετικές εκπομπές προέρχονται στην Ελλάδα από την παραγωγή τσιμέντου και άλλων υλικών οικοδομής και σε μικρότερες ποσότητες από την χημική βιομηχανία. Οι δυνατότητες μείωσης των εκπομπών στην παραγωγή τσιμέντου αφορούν στη διαφοροποίηση των υλικών, ενώ στη χημική βιομηχανία οι δυνατότητες παρέμβασης έγκεινται στην μεταβολή διεργασιών και στη χρήση υδρογόνου από ηλεκτρόλυση παρά από υδρογονάνθρακες. Εφαρμόζονται οι τεχνικές αυτές στα σενάρια, αλλά δεν επαρκούν κυρίως στον τομέα του τσιμέντου. Γίνεται η υπόθεση ότι η εφαρμογή της δέσμευσης και χρήσης ή αποθήκευσης των εκπομπών αναπτύσσεται κυρίως στα σενάρια που εντάσσονται στο στόχο του 1.5°C και λιγότερο στα σενάρια των 2°C. Στα πρώτα σενάρια, η τεχνική της δέσμευσης και αποθήκευσης εφαρμόζεται και στην ηλεκτροπαραγωγή, πάντως σε περιορισμένη έκταση όπως θα αναφερθεί σε επόμενη ενότητα.

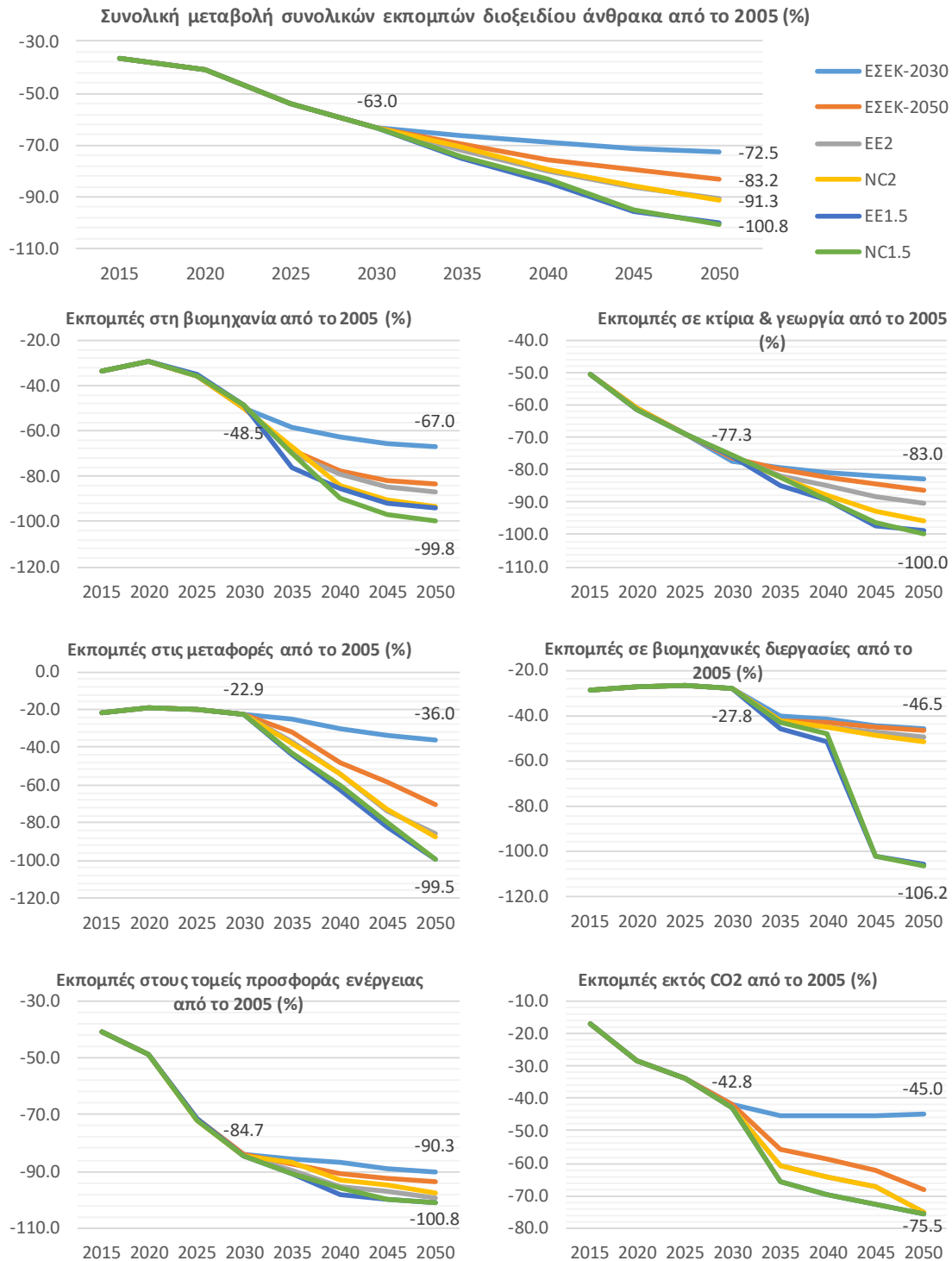
Στην περίπτωση της χημικής βιομηχανίας είναι δυνατή η χρήση τεχνικών δέσμευσης διοξειδίου άνθρακα από διεργασίες, όπως από την παραγωγή τσιμέντου, και η χρησιμοποίησή του μαζί με κλιματικά ουδέτερο υδρογόνο στην παραγωγή πρώτων υλών υδρογονανθράκων για την πετροχημεία. Έτσι το διοξείδιο του άνθρακα εγκλωβίζεται σε υλικά (πλαστικά) και δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Αν επιπλέον η δέσμευση διοξειδίου άνθρακα γίνει από βιομάζα (π.χ. κατά την αναμόρφωση βιοαερίου σε βιομεθάνιο) ο εγκλωβισμός του σε υλικά μέσω των υδρογονανθράκων της πετροχημείας αντιστοιχεί σε αρνητικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Αυτή η τεχνική αναπτύσσεται στο σενάριο NC1.5 εξηγεί το αρνητικό πρόσημο των εκπομπών όπως εμφανίζονται στα αποτελέσματα.

Οι εκπομπές από την καύση ορυκτών υδρογονανθράκων στον τομέα των μεταφορών είναι δύσκολο να εξαιρεθούν, κατ' αρχήν, λόγω της τεχνικής δυσκολίας να γίνουν ηλεκτρικά όλα τα μέσα μεταφοράς, ιδίως τα βαρέα οχήματα, τα πλοία και τα αεροσκάφη. Το σενάριο ΕΣΕΚ-2050 προβλέπει σημαντική επέκταση της ηλεκτροκίνησης στις επιβατικές μεταφορές σε αυτοκίνητα και δίτροχα μέσα, καθώς και σε κάποιο βαθμό σε λεωφορεία και μικρά φορτηγά. Σε αυτούς τους τομείς η ηλεκτροκίνηση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων λύσεων. Όμως παρά ταύτα παραμένουν σημαντικές ποσότητες διοξειδίου άνθρακα να εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Οι λύσεις για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών είναι τρεις: η επέκταση της ηλεκτροκίνησης σε τομείς όπου με τα σημερινά δεδομένα οι τεχνολογίες δεν είναι ώριμες, η χρήση βιοκαυσίμων και η χρήση υδρογόνου και υδρογονανθράκων που παράγονται υπό συνθήκες κλιματικής ουδετερότητας. Τα σενάρια αναπτύσσουν τις λύσεις αυτές σε διαφορετική έκταση ανάλογα με τον ορισμό κάθε σεναρίου. Τα σενάρια ΕΕ συνδυάζουν ακραία ηλεκτροκίνηση και βιοκαύσιμα, ενώ τα σενάρια NC αναπτύσσουν κλιματικά ουδέτερα καύσιμα αλλά και βιοκαύσιμα καθώς και ηλεκτροκίνηση όμως σε μικρότερη έκταση από ό,τι στα σενάρια ΕΕ. Εκ κατασκευής, τα σενάρια των 2°C δεν εξαντλούν όλες τις δυνατότητες εξάλειψης των εκπομπών στις μεταφορές, αποφεύγοντας τις πιο δύσκολες περιπτώσεις, ενώ τα σενάρια του 1.5°C επιτυγχάνουν σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών στον τομέα αυτό το 2050.

Σε ορισμένες θερμικές χρήσεις στη βιομηχανία και στα κτίρια το φυσικό αέριο έχει τεχνικά ή και οικονομικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων λύσεων. Στη βιομηχανία, ορισμένες διεργασίες που βασίζονται σε φλόγα ή σε καμίνους υψηλής θερμοκρασίας αλλά και η παραγωγή ατμού είναι δύσκολο να καλυφθούν πλήρως από ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, θα παραμείνουν ενεργειακές χρήσεις θερμότητας για τις οποίες θα απαιτηθεί καύσιμο. Η μεγάλης έκτασης εξοικονόμηση ενέργειας οπωσδήποτε θα μειώσει την ενεργειακή ένταση των χρήσεων αυτών, όμως χωρίς κάποιου είδους κλιματικά ουδέτερο καύσιμο δεν θα είναι δυνατή η πλήρης εξάλειψη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η χρήση αποκλειστικά φυσικού αερίου αντί άλλων ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με μεγάλης

έκτασης βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και εξηλεκτρισμό μειώνει στο ελάχιστο αλλά δεν εξαλείφει τις εκπομπές σε θερμικές χρήσεις σε βιομηχανίες και κτίρια.

Σχήμα 8: Μεταβολή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα



Ο ηλεκτρικός τομέας οφείλει να παράγει κλιματικά ουδέτερο ηλεκτρισμό ώστε να συμβάλλει στη δραστική μείωση των εκπομπών στους τομείς των μεταφορών και θερμότητας. Πράγματι αυτό επιτυγχάνεται σε σημαντικό βαθμό ήδη από το έτος 2030 στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ-2030 μέσω των πολιτικών εγκατάλειψης της ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη και την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Η ηλεκτροπαραγωγή οφείλει να πλησιάσει την κλιματική ουδετερότητα νωρίτερα από το 2050 ώστε να μειωθούν οι εκπομπές στις μεταφορές και στη θερμότητα μέσω του εξηλεκτρισμού και της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων και αντλιών θερμότητας. Το 2040 οι εκπομπές στον τομέα αυτόν φθάνουν στο -98% από το 2005 στα σενάρια του 1.5°C και το -93% περίπου στα σενάρια των 2°C. Το 2050 ο κλάδος πετυχαίνει αρνητικές εκπομπές στα σενάρια του 1.5°C για να αντισταθμίσει τις ανελαστικές εκπομπές από άλλους τομείς.

Όταν, όπως στην Ελλάδα, η μόνη πρακτικά δυνατότητα έγκειται στην ανάπτυξη και πλήρη κυριαρχία των μεταβλητών ΑΠΕ, είναι δύσκολο η κάλυψη των εφεδρειών και εξισορρόπησης της μεταβλητότητας των ΑΠΕ να γίνεται μόνο μέσω αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και της χρήσης των διασυνδέσεων, χωρίς δηλαδή στρεφόμενη εφεδρεία από θερμικές μονάδες με απευθείας έλεγχο από τη διαχείριση του συστήματος. Αν υπάρχει κλιματικά ουδέτερο καύσιμο, όπως υδρογόνο ή συνθετικό μεθάνιο, η στρεφόμενη εφεδρεία από θερμικές μονάδες δεν θα επιβαρύνει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και επομένως η διαχείριση συστήματος με πολύ μεγάλη συμμετοχή (άνω του 85%) ΑΠΕ είναι απολύτως αξιόπιστη. Αλλιώς, αν τα μέσα αποθήκευσης και οι διασυνδέσεις δεν επαρκούν, είναι ίσως αναπόφευκτη η καύση ποσοτήτων φυσικού αερίου, έστω σε περιορισμένη έκταση.

Η ανάπτυξη της τεχνικής δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα επιτρέπει την καύση φυσικού αερίου για στρεφόμενη εφεδρεία και ταυτόχρονα δεν επιβαρύνει τις εκπομπές αλλά μπορεί και να προσφέρει αρνητικές εκπομπές όταν η δέσμευση γίνεται από μονάδες καύσης βιομάζας.

Στην περίπτωση παραγωγής κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, υδρογόνου, μεθανίου και ίσως υγρών υδρογονανθράκων, τα καύσιμα αυτά επιτρέπουν τόσο αποθήκευση όσο και στρεφόμενη εφεδρεία από θερμικές μονάδες. Όμως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί σημαντικά γιατί με τα σημερινά δεδομένα τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα χρειάζονται σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας για να παραχθούν. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αυξηθεί ακόμα περισσότερο η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ και κατά συνέπεια οι εφεδρείες και οι πόροι εξισορρόπησης. Συμπληρωματικά δρουν οι τεχνικές δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα ώστε να εξαλειφθούν παντελώς οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αλλιώς κάποιες μικρές ποσότητες εκπομπών από φυσικό αέριο μπορεί να παραμείνουν παρά τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα.

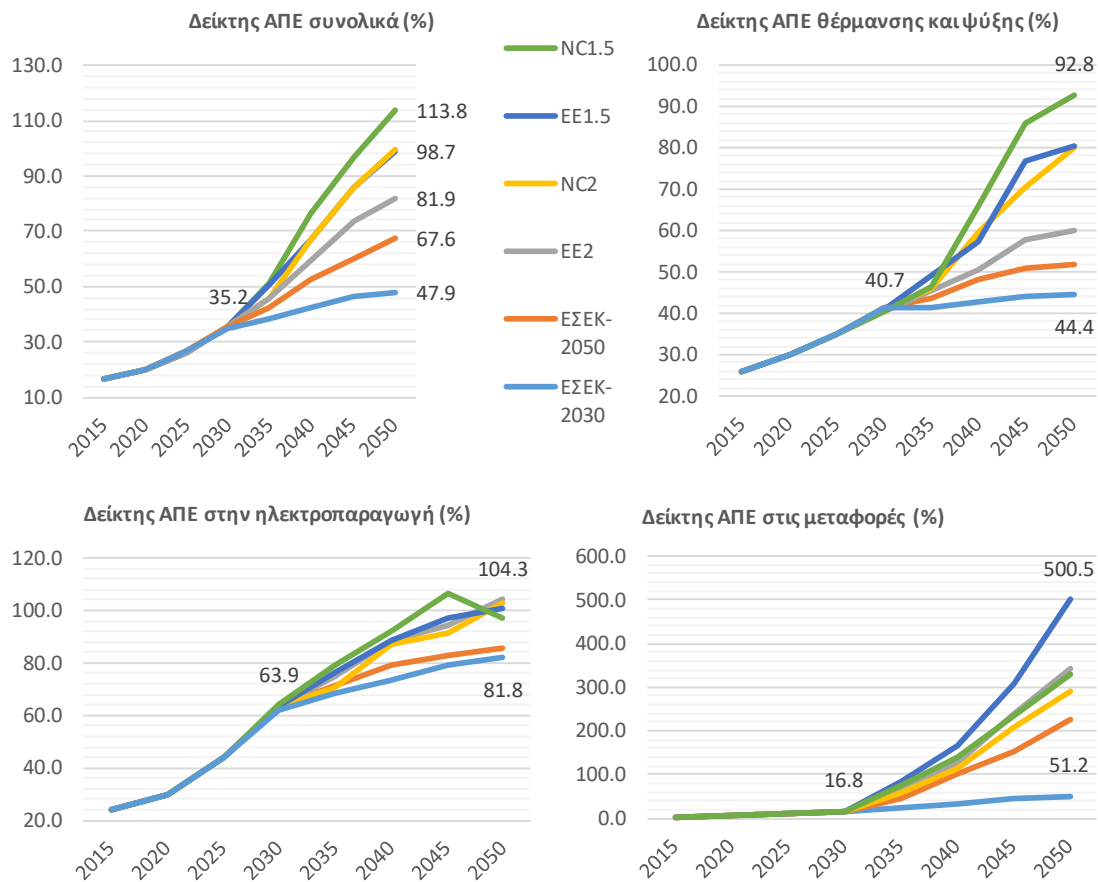
Έχοντας υποθέσει ότι θα αναπτυχθεί η τεχνική δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα, σε μικρή πάντως έκταση, στα σενάρια του 1.5°C, είναι δυνατόν να εξαλειφθούν εξ ολοκλήρου οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ηλεκτροπαραγωγή, παρά την καύση μικρών ποσοτήτων φυσικού αερίου για στρεφόμενη εφεδρεία. Όμως αυτό δεν είναι δυνατόν, εξ υποθέσεως, στα σενάρια των 2°C και έτσι παραμένουν μικρές ποσότητες εκπομπών στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2050. Επίσης, τα σενάρια που υποθέτουν ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων (δηλαδή τα σενάρια NC) έχουν προφανώς μεγαλύτερες δυνατότητες χρήσης στρεφόμενης εφεδρείας με μονάδες κλιματικά ουδέτερων καυσίμων και άρα έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης των εκπομπών συγκριτικά με τα σενάρια χωρίς κλιματικά ουδέτερα καύσιμα, όπως τα σενάρια EE.

4.1.3 Δείκτες για τις ΑΠΕ

Σχετικά με τους δείκτες πολιτικής που αναφέρονται στις ΑΠΕ, τα αποτελέσματα όλων των σεναρίων επιβεβαιώνουν ότι οι ΑΠΕ κυριαρχούν μέχρι το 2050, κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή όπου ο σχετικός

δείκτης υπερβαίνει το 95% στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Ο δείκτης¹ φθάνει σε υψηλά επίπεδα (82%) για το έτος 2050 και στα σενάρια ΕΣΕΚ-2050 και ΕΣΕΚ-2030 δεδομένου ότι η πολιτική ΑΠΕ περιλαμβάνεται στις βασικές πολιτικές με αδιαμφισβήτητο όφελος. Η μείωση του κόστους των ΑΠΕ σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπών στο πλαίσιο του ETS λαμβάνει χώρα σε όλα τα σενάρια και επομένως δικαιολογεί από οικονομικής απόψεως τη θεαματική αύξηση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και μετά το 2030 ακόμα και στο πλαίσιο των σεναρίων ΕΣΕΚ. Για οικονομικούς λόγους, επομένως, στο σενάριο ΕΣΕΚ-2030 η υπόθεση περί επιβράδυνσης των πολιτικών ΕΣΕΚ μετά το 2030 δεν επιφέρει ουσιαστική μείωση της ανάπτυξης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Η υπόθεση ότι οι τιμές διοξειδίου άνθρακα στο πλαίσιο του EU ETS αυξάνονται σημαντικά στην περίοδο 2030-2050 είναι αποτέλεσμα του μηχανισμού σταθεροποίησης της αγοράς (MSR-market stability reserve), ο οποίος εφαρμόζεται με αυτόματο τρόπο μέχρι το 2050, σύμφωνα με την Ενωσιακή νομοθεσία.

Σχήμα 9: Δείκτες ΑΠΕ, στα σενάρια ΜΣ50



Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή έχει ως συνέπεια τη θεαματική αύξηση των δεικτών

¹ Οι δείκτες ΑΠΕ υπολογίζονται σύμφωνα με σύμβαση που ακολουθεί το πρότυπο κατά την Eurostat. Ο παρονομαστής για τον συνολικό δείκτη είναι η ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας ενώ ο αριθμητής περιλαμβάνει τη χρήση ΑΠΕ άμεσα αλλά και έμμεσα μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας, της διανεμόμενης θερμότητας και της διανομής αερίου όταν αυτά περιέχουν ανανεώσιμα αέρια (π.χ. βιοαέριο) ή μεθάνιο και υδρογόνο που παράγονται από ηλεκτρική ενέργεια με βάση τις ΑΠΕ. Οι μαθηματικοί τύποι του συμβατικού υπολογισμού μπορεί να οδηγήσουν σε τιμές μεγαλύτερες του 100% για τους δείκτες ΑΠΕ ιδίως σε σενάρια με κλιματικά ουδέτερα συνθετικά καύσιμα.

ΑΠΕ και στους άλλους τομείς, δηλαδή στη θέρμανση-ψύξη και στις μεταφορές, ιδίως στα σενάρια που προβλέπουν μεγάλη αύξηση του εξηλεκτρισμού στις σχετικές χρήσεις. Πράγματι, αυτό γίνεται σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής αλλά και σε μεγάλο βαθμό και στο σενάριο ΕΣΕΚ-2050 αφού και ο εξηλεκτρισμός σε συνδυασμό με τις ΑΠΕ περιλαμβάνονται στις βασικές πολιτικές.

Η αύξηση του δείκτη ΑΠΕ στη θέρμανση και ψύξη οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην αύξηση της χρήσης αντλιών θερμότητας και όχι σε χρήση βιομάζας, η οποία δεν αυξάνεται λόγω κόστους αλλά και επιπτώσεων στο περιβάλλον των πόλεων. Η θεαματική αύξηση των ΑΠΕ στις μεταφορές οφείλεται στην αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων, τα οποία είναι προηγμένης γενιάς παραγόμενα κυρίως από κυτταρινούχο τύπο βιομάζας. Η συνεισφορά του εξηλεκτρισμού στον δείκτη ΑΠΕ του τομέα των μεταφορών μεγεθύνεται λόγω του πολλαπλασιαστή που εμπεριέχει ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού του δείκτη κατά τη μεθοδολογία του Ενωσιακού Κανονισμού.

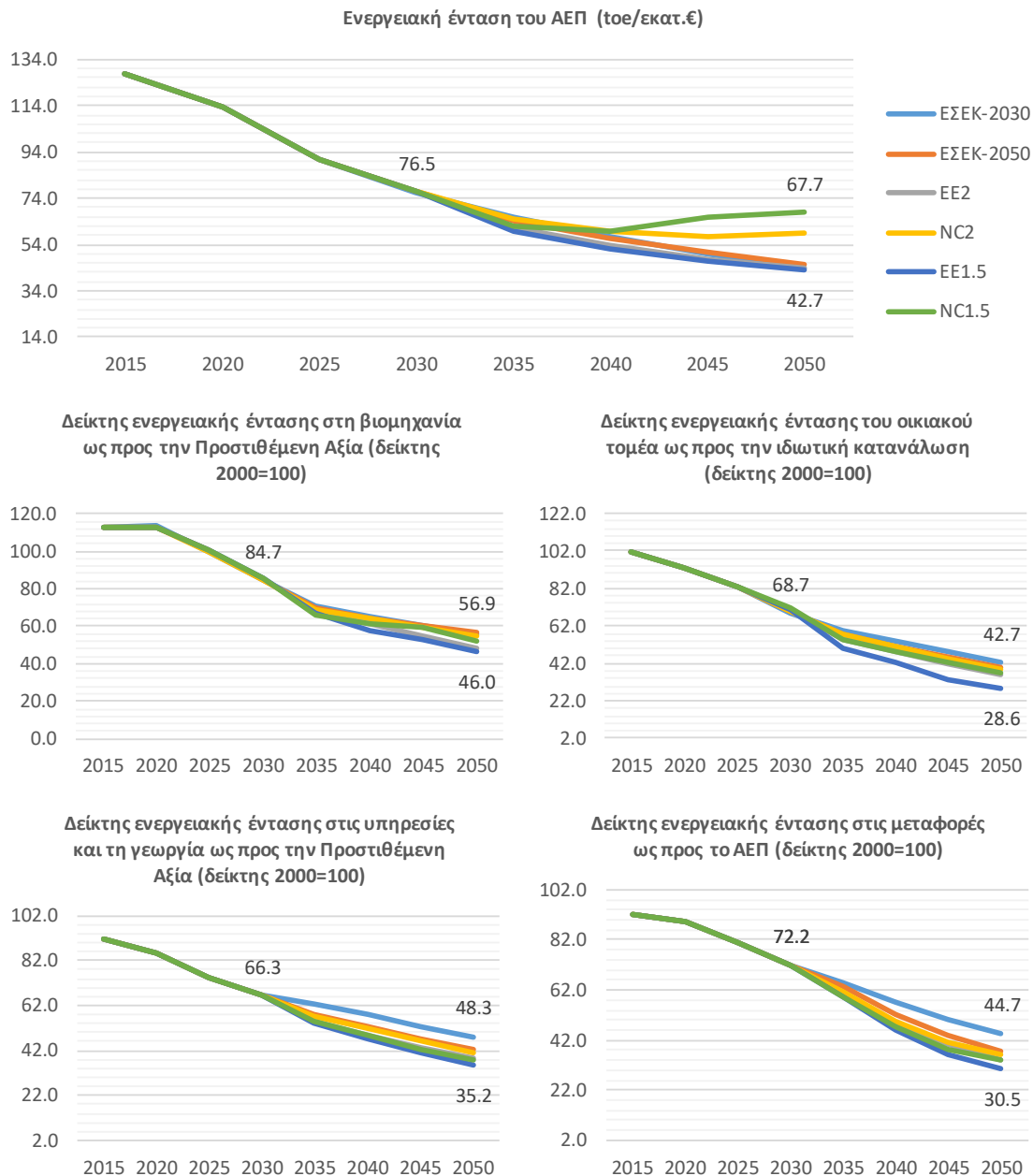
4.1.4 Δείκτες ενεργειακής έντασης

Οι συνολικοί δείκτες σχετικά με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης βελτιώνονται θεαματικά σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής αλλά και στο ΕΣΕΚ-2050. Η συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται συνεχώς μετά το 2020 σε όλα τα σενάρια και η μείωση επιταχύνεται μετά το 2030. **Η μείωση της κατανάλωσης είναι ακόμα μεγαλύτερη στα σενάρια ΕΕ συγκριτικά με τα αντίστοιχα σενάρια NC, λόγω της έμφασης που προσδίδουν τα πρώτα στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης**, αφού δεν αναπτύσσουν κλιματικά ουδέτερα καύσιμα, όπως τα δεύτερα. Δεδομένου ότι όλα τα σενάρια βασίζονται στην ίδια προβολή της οικονομικής ανάπτυξης, προκύπτει από τα αποτελέσματα θεαματική αποσύνδεση της κατανάλωσης ενέργειας στο μέλλον από την ανάπτυξη της οικονομίας, όπως αυτή μετράται από το ΑΕΠ (σε μονάδες όγκου). Η ενεργειακή ένταση του ΑΕΠ μειώνεται κατά περίπου 40% μέχρι το έτος 2030 συγκριτικά με το 2015, χάρη στους στόχους του ΕΣΕΚ και στα μέτρα πολιτικής της περιόδου 2020-2030, αλλά και μέχρι σχεδόν 45% το έτος 2050 σε σχέση με το έτος 2030 στα μακροχρόνια σενάρια στρατηγικής και ιδίως στα σενάρια ΕΕ.

Στα σενάρια NC που προβλέπουν ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων υδρογόνου και υδρογονανθράκων το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ανά μονάδα ΑΕΠ αυξάνεται μακροχρόνια επειδή τα καύσιμα παράγονται από διαδικασία μετασχηματισμού με σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης. Για την παραγωγή τους θα απαιτηθεί μεγαλύτερη ποσότητα ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή συγκριτικά με τις ΑΠΕ στα σενάρια ΕΕ και κατά συνέπεια αυξάνεται το σύνολο της πρωτογενούς ενέργειας. Όμως επειδή οι ΑΠΕ είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αύξηση στη χρήση τους δεν δημιουργεί πρόβλημα εξαντλησιμότητας, όπως όταν εξαντλούνται κοιτάσματα ή αποθέματα, απλά δημιουργεί στενότητα ή σπανιότητα σχετικά με την εύρεση χώρων για την ανάπτυξη των ΑΠΕ σε μεγάλη κλίμακα. Δεδομένου όμως ότι η παραγωγικότητα των εγκαταστάσεων ΑΠΕ βελτιώνεται μακροχρόνια χάρη στην τεχνολογική πρόοδο, όπως υψηλότερες ανεμογεννήτριες, θαλάσσια αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκά μεγάλης απόδοσης ή ευελιξίας στην τοποθέτησή τους, το αξιοποιήσιμο ενεργειακό δυναμικό των ΑΠΕ μπορεί να αυξηθεί σημαντικά χωρίς να απαιτείται ανάλογη αύξηση των χώρων ανάπτυξής τους. Επομένως, η μη βελτίωση του δείκτη ενεργειακής έντασης του ΑΕΠ στα σενάρια NC δεν αποτελεί πρόβλημα, γιατί το σύστημα αναπτύσσεται βάσει της αύξησης των ΑΠΕ και ταυτόχρονα με την αύξηση της παραγωγικότητάς τους. Στο βαθμό δηλαδή που το δυναμικό των ΑΠΕ σε ανάγκη χώρων δεν εξαντλείται δεν υπάρχει πρόβλημα αν δεν βελτιώνεται η ενεργειακή ένταση του ΑΕΠ. Θα ήταν πρόβλημα αν η επιπλέον ενέργεια ήταν εισαγόμενη ή εξαντλούμενη.

Στους τομείς της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, η βελτίωση των δεικτών ενεργειακής απόδοσης συνεχίζεται μετά το 2030 και επιταχύνεται στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Στον τομέα της βιομηχανίας, η βελτίωση του δείκτη ενεργειακής έντασης ανέρχεται περίπου σε 23% κατά την περίοδο 2020-2030 στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ, ενώ βελτιώνεται περαιτέρω κατά 40% από το 2030 στο 2050 στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Ομοίως, στα κτίρια η βελτίωση της ενεργειακής έντασης κατά 30% στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ της περιόδου 2020-2030 φθάνει σε βελτίωση μεταξύ 40% και 60% από το 2030 στο 2050. Στις μεταφορές η ενεργειακή ένταση, που βελτιώνεται κατά 22% στο διάστημα 2020-2030, αγγίζει βελτίωση μεταξύ 50 και 55% στο διάστημα 2030-2050.

Σχήμα 10: Δείκτες ενεργειακής αποδοτικότητας στα σενάρια ΜΣ50



Η μεγάλη βελτίωση της ενεργειακής έντασης των τελικών καταναλώσεων είναι μεγάλης σημασίας για τη βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος, που φιλοδοξεί να πλησιάσει την κλιματική ουδετερότητα το έτος 2050. Χωρίς τη βελτίωση αυτή θα εξαντλούνταν οι δυνατότητες παροχής των κλιματικά ουδέτερων πηγών, οι οποίες είτε με τη μορφή βιομάζας είτε ως ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή τροφοδοτούν την κάλυψη της ζήτησης. Η θεαματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης επιτυγχάνεται σε όλους τους τομείς μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας, της χρήσης πιο αποδοτικών συσκευών και εξοπλισμού προηγμένης τεχνολογίας και του εξηλεκτρισμού επειδή η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στις μεταφορές και στη θερμότητα είναι πολύ πιο αποδοτική ενεργειακά (πάνω από τρεις φορές πιο αποδοτική) από τη χρήση καυσίμων. Ο εξηλεκτρισμός της τελικής κατανάλωσης ενέργειας εκτός από μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνει επειδή παράγεται με κλιματικά ουδέτερο

τρόπο, οδηγεί και σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην τελική κατανάλωση, άρα μειώνει την ανάγκη χρήσης κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, τα οποία είναι ηλεκτροβόρα και θα αύξαναν τις συνολικές ανάγκες του συστήματος. Όμως ο εξηλεκτρισμός στην τελική κατανάλωση δεν μπορεί να εφαρμοσθεί παντού, και επομένως τα ηλεκτροβόρα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα περιορίζονται σε αυτές τις χρήσεις. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται οι συνολικές ποσότητες των κλιματικά ουδέτερων καυσίμων και το συνολικό σύστημα παραμένει αποδοτικό και βιώσιμο.

4.2 Πρωτογενής παραγωγή και προμήθεια ενέργειας

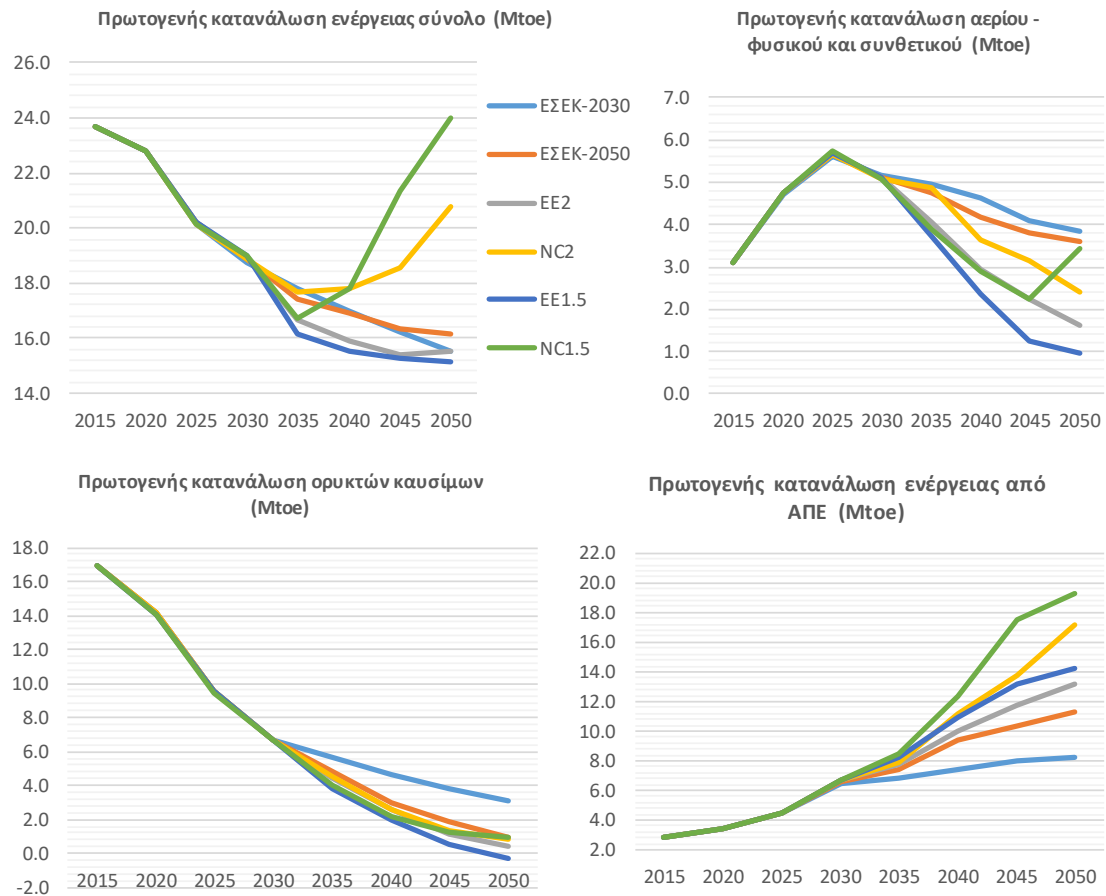
Όλα τα σενάρια αναπτύσσουν τις ΑΠΕ σε μέγιστο βαθμό στην ηλεκτροπαραγωγή, στην οποία οι ΑΠΕ είναι ενεργειακά πολύ αποδοτικές γιατί έχουν βαθμό απόδοσης ίσο με ένα, ενώ τα καύσιμα έχουν στην ηλεκτροπαραγωγή βαθμό απόδοσης μικρότερο του ένα. Το αποτέλεσμα της θεαματικής ανάπτυξης των ΑΠΕ είναι να μειώνεται και η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με την περίπτωση διατήρησης των καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή και σε άλλους τομείς του συστήματος προσφοράς ενέργειας. Οι ΑΠΕ μετρούνται με συντελεστή ίσο με ένα στην πρωτογενή ενέργεια, ενώ τα καύσιμα μετρούνται σύμφωνα με το αντίστροφο του ενεργειακού βαθμού απόδοσης κατά την καύση τους. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη των ΑΠΕ επιφέρει ακόμη μεγαλύτερη μείωση της πρωτογενούς ενέργειας συγκριτικά με τη μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας.

Όπως παρουσιάστηκε, στα σενάρια που προβλέπουν την ανάπτυξη παραγωγής υδρογόνου και συνθετικών υδρογονανθράκων, αυξάνεται το σύνολο της πρωτογενούς ενέργειας μετά το 2035 συγκριτικά με τα λοιπά σενάρια. Στα σενάρια αυτά η συνολική κατανάλωση αερίου (στο οποίο περιλαμβάνεται το υδρογόνο, το βιοαέριο και το συνθετικό μεθάνιο) διατηρείται μακροχρόνια σε επίπεδα χαμηλότερα αλλά αρκετά συγκρίσιμα με αυτά του 2030. Όμως μειώνεται δραματικά η χρήση φυσικού αερίου ιδίως στα σενάρια που συνάδουν με τον στόχο του 1.5°C. Στα σενάρια όμως που δεν αναπτύσσονται τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα, η συμμετοχή του αερίου στις συνολικές ανάγκες ενέργειας μειώνεται σημαντικά σε μακροχρόνιο ορίζοντα.

Πλην κάποιων ποσοτήτων φυσικού αερίου ελάχιστες ποσότητες ορυκτών καυσίμων παραμένουν το 2050 στο ενεργειακό ισοζύγιο. Πρόκειται για υγρά καύσιμα στις μεταφορές, τα οποία όμως και αυτά εξαλείφονται στα σενάρια του 1.5°C. Βεβαίως παραμένουν υδρογονάνθρακες ορυκτής προέλευσης σε μη ενεργειακές χρήσεις όμως και για αυτές, όπως στην πετροχημεία και στην αμμωνία, το υδρογόνο παράγεται με κλιματικά ουδέτερο τρόπο, ενώ η σύνθεση πρώτων υλών χημικής βιομηχανίας από σύνθετο αέριο που προέρχεται από κλιματικά ουδέτερο υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (από δέσμευση από την ατμόσφαιρα ή από βιομάζα) επιτρέπει αρνητικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στα σενάρια του 1.5°C μειώνεται η χρήση ορυκτών καυσίμων (υδρογονανθράκων) και στις μη ενεργειακές χρήσεις. Προφανώς ήδη πριν από το έτος 2030 έχει εγκαταλειφθεί η χρήση λιγνίτη. Παραμένουν μικρές ποσότητες εξαγωγών προϊόντων πετρελαίου μέχρι το 2050, στις οποίες αντιστοιχούν αρνητικές τιμές πρωτογενούς κατανάλωσης το 2050 στο σενάριο EE1.5.

Στα σενάρια του 1.5°C η ανάπτυξη της δέσμευσης διοξειδίου άνθρακα και η αποθήκευσή του σε υπόγειους σχηματισμούς επιτρέπει διατήρηση της χρήσης περιορισμένων ποσοτήτων φυσικού αερίου κατά το έτος 2050, οι οποίες αφορούν σε χρήση στρεφόμενης εφεδρείας από θερμική ισχύ στην ηλεκτροπαραγωγή και σε λίγες θερμικές χρήσεις στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η ανάπτυξη της αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα είναι περιορισμένη λόγω μικρής διαθεσιμότητας κατάλληλων υπόγειων χώρων στην Ελλάδα. Με τα σημερινά δεδομένα η αποθηκευτική ικανότητα δεν θα μπορεί να υπερβεί τα 140 εκατ. tCO₂. Το δυναμικό αυτό πάντως είναι αρκετό για τις μικρές ποσότητες φυσικού αερίου που θα είναι απαραίτητες το 2050 και τις εκπομπές από βιομηχανικές διεργασίες οι οποίες χωρίς τη δέσμευση και αποθήκευση δεν θα ήταν δυνατόν να εξαλειφθούν.

Σχήμα 11: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στα σενάρια ΜΣ50



Η ενεργειακή εξάρτηση της χώρας σε εισαγόμενες μορφές ενέργειας μειώνεται θεαματικά στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, ιδιαίτερα σε μακροχρόνιο ορίζοντα και μετά το 2040. Η μείωση των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων οφείλεται κατ' αρχήν στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά πιο πολύ στην ανάπτυξη των ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ ως εγχώρια παραγόμενη μορφή ενέργειας υπερκαλύπτουν τη συνεισφορά των λιγνιτών στο ενεργειακό ισοζύγιο ήδη πριν από το έτος 2030, και στη συνέχεια μετά το έτος 2030 η περαιτέρω μεγάλη ανάπτυξη των ΑΠΕ υποκαθιστά τα εισαγόμενα αέρια και υγρά ορυκτά καύσιμα, μέσω της βιομάζας-βιοαερίου και άλλων μορφών ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση, και κυρίως οι ΑΠΕ υποκαθιστούν τα εισαγόμενα καύσιμα εμμέσως μέσω ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται κυρίως από ΑΠΕ.

Στο σενάριο των βασικών πολιτικών, δηλαδή το ΕΣΕΚ-2050, οι ΑΠΕ καλύπτουν το 70% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας το 2050, ενώ στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής οι ΑΠΕ καλύπτουν απευθείας το 75-80% του συνόλου της ενέργειας το 2050 στα σενάρια των 2°C και το 75-90% στα σενάρια του 1.5°C. Στα σενάρια που προβλέπουν ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, δηλαδή τα σενάρια NC, οι ΑΠΕ επιπλέον της απευθείας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, παράγουν και τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα τα οποία υποκαθιστούν απευθείας αέρια και υγρά καύσιμα στο ενεργειακό ισοζύγιο. Έτσι στα σενάρια NC, το μερίδιο των εγχωρίων καυσίμων στη συνολική κατανάλωση ενέργειας φθάνει το 82% συνολικά στο σενάριο NC2 και 88% στο σενάριο NC1.5. Λαμβάνοντας υπόψη και τα bunkers, ο δείκτης ενεργειακής εξάρτησης περιορίζεται σε επίπεδα 22-30% το 2050, βελτιωμένος από τα ιστορικά επίπεδα του κατά 75% περίπου.

Πίνακας 2: Δείκτης ενεργειακής εξάρτησης

	2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Δείκτης ενεργειακής εξάρτησης (%)	59.4	48.0	37.9	26.9	31.8	22.8
Σύνολο δαπανών για εισαγόμενα καύσιμα (δισ.€)	6.2	4.6	3.3	3.0	2.6	2.7

Χάρη στην ανάπτυξη των ΑΠΕ και στην εξοικονόμηση ενέργειας, η συνολική δαπάνη για αγορά εισαγομένων καυσίμων (εισαγωγές μείον εξαγωγές) μειώνεται θεαματικά από τα περίπου 7-8 δισ. € ετησίως κατά την πρόσφατη περίοδο σε 3-3.3 δισ. € το 2050 στα σενάρια 2°C και 2.6-2.7 δισ. € στα σενάρια του 1.5°C. Χωρίς τις επιπλέον πολιτικές των σεναρίων αυτών, οι δαπάνες θα διαμορφώνονταν σε 6.2 δισ. € το 2050 και η ενεργειακή εξάρτηση κοντά στο 60%. Να σημειωθεί ότι το 50% περίπου αυτής της δαπάνης αντιστοιχεί το 2050 σε πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας για μη ενεργειακές χρήσεις.

4.3 Επισκόπηση της στρατηγικής ανά τομέα

4.3.1 Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, κατοικίες και κτίρια του τομέα των υπηρεσιών, περιλαμβάνεται στις βασικές πολιτικές με αδιαμφισβήτητα οφέλη, και μάλιστα αποτελεί τον τομέα με τις μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων με οικονομικά αποτελεσματικό τρόπο. Τα σενάρια μακροχρόνιας στρατηγικής, αλλά και το ΕΣΕΚ-2050, περιλαμβάνουν ιδιαίτερα φιλόδοξους στόχους και ανάλογες πολιτικές με σκοπό να μειωθεί δραστικά η κατανάλωση ενέργειας ιδιαίτερα για θερμικές χρήσεις.

Οι στόχοι των σεναρίων μακροχρόνιας στρατηγικής βασίζονται στην επιδίωξη το κτιριακό απόθεμα να πλησιάσει το 2050 προδιαγραφές σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή να αποτελείται από κτίρια με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, των οποίων η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, να αντισταθμίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε άμεσα χρησιμοποιούμενες είτε έμμεσα μέσω αντλιών θερμότητας.

Συγκριτικά με το στόχο για το 2030, οι επιδιώξεις για το 2050 είναι σημαντικά πιο φιλόδοξες και επομένως τα μέσα πολιτικής πρέπει να είναι μεγαλύτερης έκτασης. Για να πλησιάσει το κτιριακό απόθεμα τη μηδενική καθαρή ενέργεια πρέπει:

- να εφαρμοσθούν αυστηρές προδιαγραφές για τα νέα κτίρια αναφορικά με την ενεργειακή επίδοση του κελύφους και
- να γίνει μεγάλης έκτασης ενεργειακή αναβάθμιση των παλαιών κτιρίων ώστε το σύνολο σχεδόν του παλαιού κτιριακού αποθέματος που θα παραμείνει το 2050 να είναι ενεργειακά αναβαθμισμένο.

Επειδή ο ρυθμός κατασκευής νέων κτιρίων είναι σχετικά μικρός και αναμένεται να διατηρηθεί χαμηλός στο μέλλον, η ενεργειακή αναβάθμιση παλαιών κτιρίων είναι πολύ μεγάλης σημασίας. Τα σενάρια μακροχρόνιας στρατηγικής, για λόγους ανάλυσης και οικονομικής αξιολόγησης, διαφοροποιούν κάπως την έκταση εφαρμογής της παραπάνω πολιτικής για το κτιριακό απόθεμα, όπως φαίνεται στον πίνακα.

Πίνακας 3: Πλήθος νέων και ανακαινισμένων κτιρίων και ενεργειακή επίδοση του κελύφους

	2031-2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Κατοικίες						
Πλήθος παλαιών κτιρίων που αναβαθμίζονται ενεργειακά εντός της αντίστοιχης περιόδου (χιλιάδες κτίρια)	728	856	915	874	1135	955
Πλήθος παλαιών κτιρίων χωρίς ενεργειακή αναβάθμιση (χιλιάδες κτίρια) που παραμένουν στο τέλος της αντίστοιχης περιόδου	1904	1775	1716	1757	1496	1676
Κτίρια τομέα υπηρεσιών						
Πλήθος παλαιών κτιρίων που αναβαθμίζονται ενεργειακά εντός της αντίστοιχης περιόδου (χιλιάδες κτίρια)	50	62	67	64	73	68
Πλήθος παλαιών κτιρίων χωρίς ενεργειακή αναβάθμιση (χιλιάδες κτίρια) που παραμένουν στο τέλος της αντίστοιχης περιόδου	96	84	79	83	73	78

Η μεγάλη έκταση μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια λόγω της ενεργειακής αναβάθμισης του κελύφους καθιστά τη χρήση αντλιών θερμότητας πιο συμφέρουσα συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες θέρμανσης χώρων. Επίσης, οι κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα είναι συμβατές με τις τεχνικές δυνατότητες των αντλιών θερμότητας και η ανάγκη συμπλήρωσης της θέρμανσης με χρήση καυσίμου είναι πολύ περιορισμένη και σε λίγες περιοχές της χώρας. Επομένως, ο εξηλεκτρισμός της θέρμανσης συμβαδίζει με την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων και είναι οικονομικά αποδοτικός ταυτόχρονα με την αναμενόμενη μείωση του κόστους αγοράς των αντλιών θερμότητας λόγω της εξελισσόμενης τεχνολογικής προόδου. Επίσης, οι αντλίες θερμότητας επιτρέπουν και την ενεργειακά και οικονομικά αποδοτική κάλυψη των αναγκών σε ψύξη, καθώς και την αποδοτική παροχή ζεστού νερού στα κτίρια.

Στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, εκτός από τις αεροθερμικές αντλίες θερμότητας, που επιλέγονται ήδη στο ΕΣΕΚ-2050, σημαντική είναι και η διείσδυση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, το πλήθος των οποίων πολλαπλασιάζεται συγκριτικά με το 2030 ειδικά στα σενάρια που στοχεύουν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (EE2, EE1.5). Η αύξηση αυτή είναι πολύ πιο έντονη στην περίπτωση των κτιρίων κατοικίας, ως αποτέλεσμα της ενεργειακής αναβάθμισης του κελύφους τους. Η εκτεταμένη χρήση ηλιοθερμικών για την κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης (ZNX), ειδικά στον οικιακό τομέα, η οποία έχει αποτυπωθεί και στα στατιστικά δεδομένα για το 2017, εξακολουθεί να ισχύει και στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Συγκριτικά με το 2030, το πλήθος των κτιρίων με ηλιοθερμικά συστήματα για ZNX, αυξάνεται περισσότερο στα σενάρια των νέων ενεργειακών φορέων (NC2, NC1.5), καθώς στα σενάρια που στοχεύουν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, οι αντλίες θερμότητας που έχουν επιλεγεί για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, χρησιμοποιούνται και για την κάλυψη της ζήτησης ζεστού νερού.

Ο εξηλεκτρισμός των θερμικών χρήσεων στα κτίρια προβλέπεται να κυριαρχήσει στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής και να οδηγήσει σε σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον κτιριακό τομέα. Λίγες μόνο περιπτώσεις χρήσης πετρελαίου και στερεών καυσίμων προβλέπονται στα σενάρια της ΜΣ50 οι οποίες περιλαμβάνουν μικρές κατοικίες και κτίρια υπό ειδικές συνθήκες. Στην περίπτωση διάθεσης κλιματικά ουδέτερου αερίου μέσω δικτύου στα σενάρια NC, τα κτίρια που θα χρησιμοποιούν αέριο για τις θερμικές χρήσεις θα είναι σχετικά περισσότερα συγκριτικά με τα σενάρια χωρίς κλιματικά ουδέτερο αέριο, όμως στα σενάρια EE το κόστος του κλιματικά ουδέτερου αερίου είναι δυσμενές συγκριτικά με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και θα οδηγήσει σε συρρίκνωση του πλήθους των κτιρίων που χρησιμοποιούν αέριο.

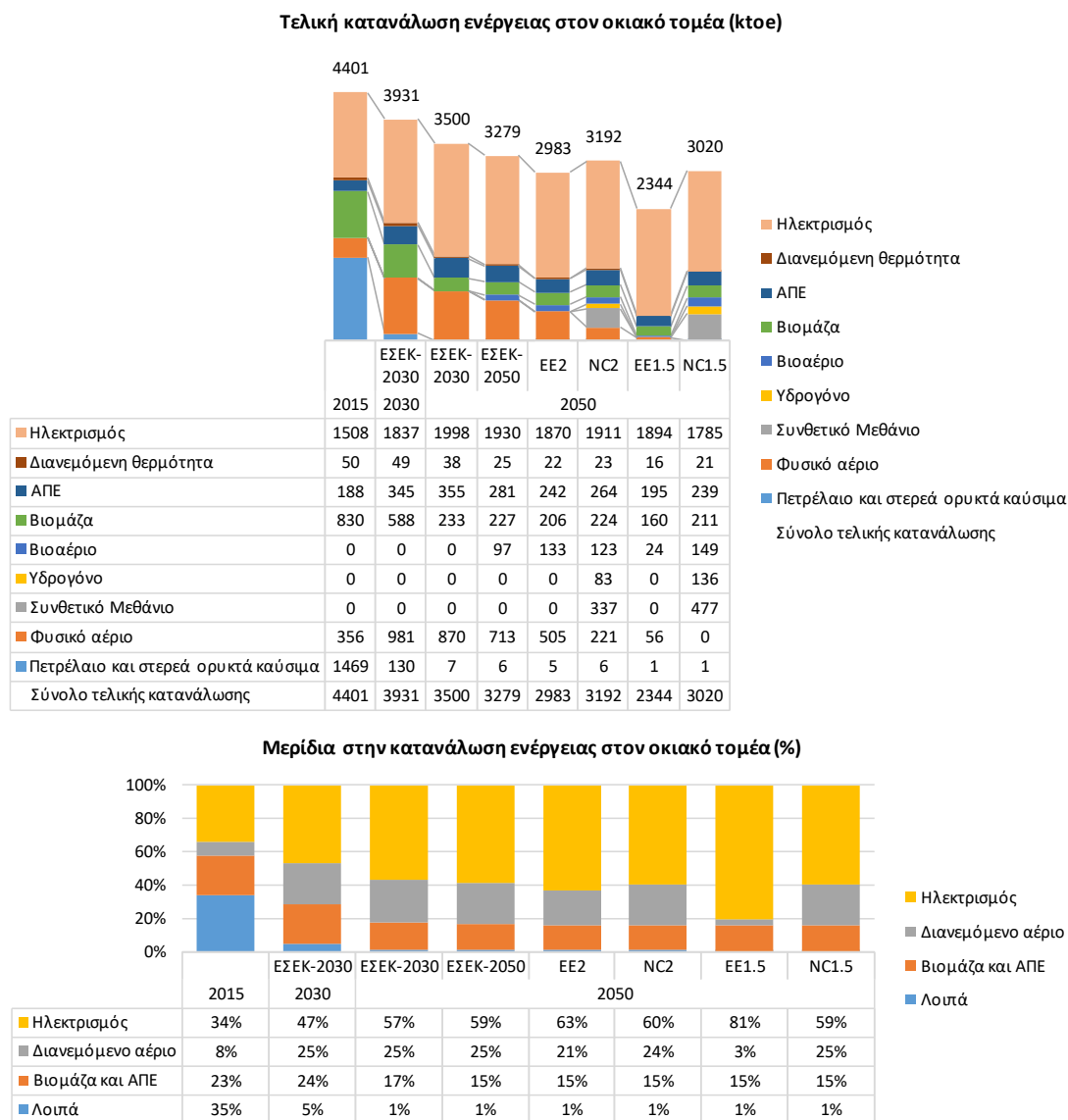
Πίνακας 4: Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια

	2030	2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Κατοικίες							
Πλήθος κτιρίων (χιλιάδες κτίρια)							
Αντλία θερμότητας	438	872	853	1031	930	3198	820
Γεωθερμία	0.4	0.4	0.5	24	6	88	9
Ηλιοθερμικά ζεστού νερού	3182	3977	3919	3820	3915	3336	3892
Αέριο	1901	2412	2426	2293	2384	329	2501
Βιομάζα και ΑΠΕ	1101	853	876	861	862	700	878
Διανεμόμενη θερμότητα	97	112	98	97	96	79	94
Αυτόνομες συσκευές μερικής θέρμανσης χώρων	985	102	98	69	79	45	58
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων (ktoe τελικής κατανάλωσης)							
Ηλεκτρική ενέργεια	860	834	767	723	752	755	645
Αέριο	981	870	810	637	764	79	763
Βιομάζα και ΑΠΕ	934	588	508	448	488	354	450
Διανεμόμενη θερμότητα	49	38	25	22	23	16	21
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	130	7	6	5	6	1	1
Κτίρια τομέα υπηρεσιών							
Πλήθος κτιρίων (χιλιάδες κτίρια)							
Αντλία θερμότητας	170	300	305	313	311	349	306
Γεωθερμία	3	13	14	25	17	55	22
Ηλιοθερμικά ζεστού νερού	56	91	89	86	89	81	87
Αέριο	53	53	48	41	42	7	47
Βιομάζα και ΑΠΕ	8	7	7	6	6	4	7
Διανεμόμενη θερμότητα	0	0	0	0	0	0	0
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	66	0	0	0	0	0	0
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων (Mtoe τελικής κατανάλωσης)							
Ηλεκτρική ενέργεια	991	810	781	718	776	691	710
Αέριο	179	134	108	82	91	21	97
Βιομάζα και ΑΠΕ	80	77	64	53	60	43	55
Διανεμόμενη θερμότητα	0	0	0	0	0	0	0
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	15	0	0	0	0	0	0

Βεβαίως, η πορεία προς την κλιματική ουδετερότητα περιλαμβάνει την εξάλειψη κάθε χρήσης στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων στα κτίρια. Η σχετική αύξηση της σπανιότητας της βιομάζας (λόγω χρήσης της στην παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοαερίου) στο μέλλον θα οδηγήσει σε αύξηση τιμών που θα αποθαρρύνουν τη χρήση της για θέρμανση χώρων. Δυσμενή επίδραση επίσης θα έχουν ρυθμιστικές παρεμβάσεις που θα αποτρέπουν την εκπομπή σωματιδίων και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων από την καύση βιομάζας σε κτίρια. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τη χρήση τεχνολογιών και μορφών ενέργειας στο κτιριακό απόθεμα κατά σενάριο.

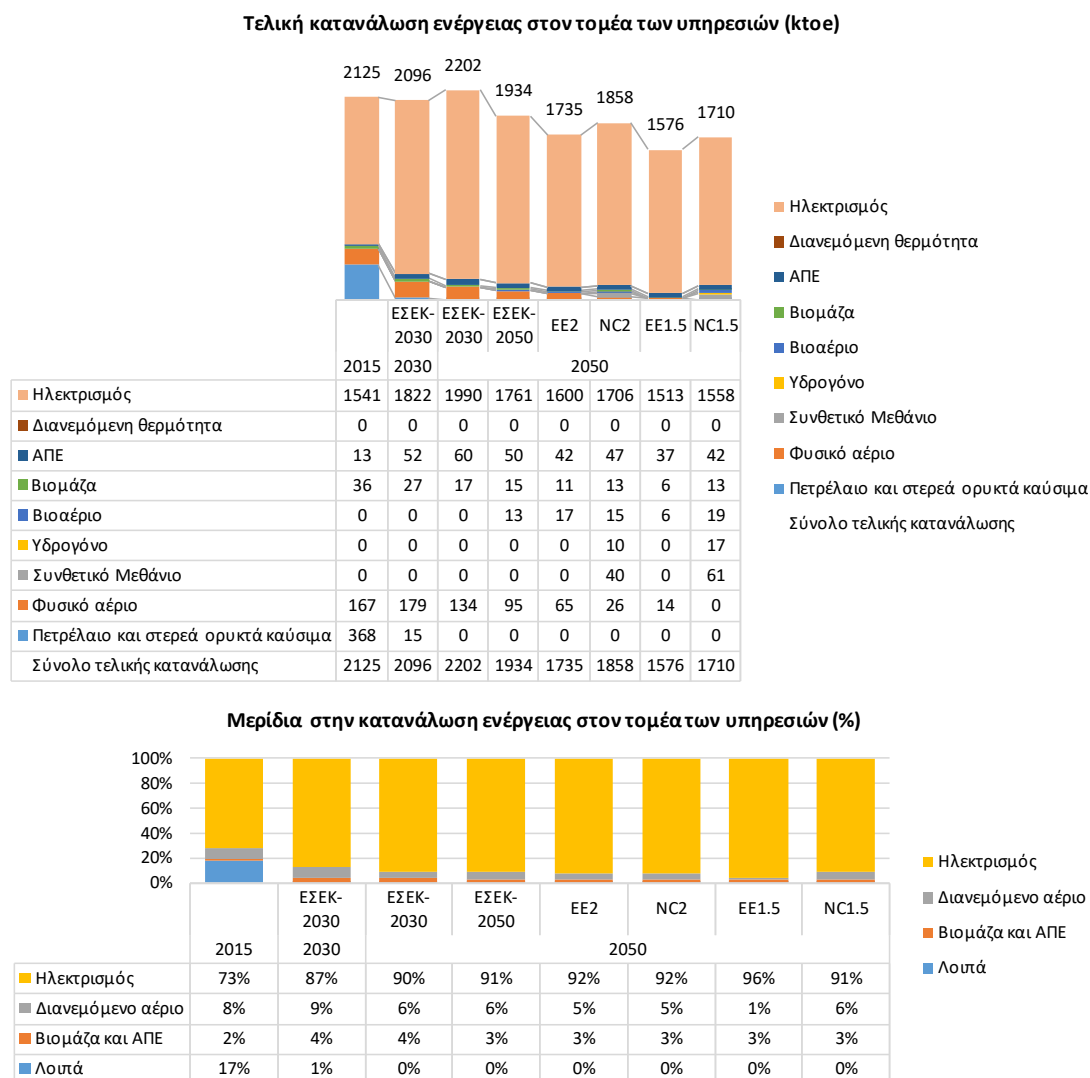
Ο εξηλεκτρισμός των θερμικών χρήσεων αυξάνεται σημαντικά σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, όπως παρατηρείται ήδη στο ΕΣΕΚ-2030 σε κάποιο βαθμό. Ο εξηλεκτρισμός θερμικών χρήσεων στα κτίρια διευκολύνεται από τη μείωση του κόστους των αντλιών θερμότητας στο μέλλον, το συνδυασμό θερμότητας και ψύξης που επιτρέπουν οι αντλίες θερμότητας και την ευκολία χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση αυτή είναι σαφώς εντονότερη στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών, καθώς γίνεται στροφή σε μεγάλης ισχύος κεντρικές κλιματιστικές μονάδες που καλύπτουν τις ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και αερισμό με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις περιπτώσεις κτιρίων (νοσοκομεία, κτίρια γραφείων κ.α.).

Σχήμα 12: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα



Γίνεται η υπόθεση ότι επιπλέον της φυσικής τάσης προς τον εξηλεκτρισμό της θέρμανσης, εφαρμόζονται και ειδικές πολιτικές για επιτάχυνση του εξηλεκτρισμού στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, επειδή στα σενάρια αυτά είναι εφικτή η δραστική μείωση των εκπομπών στη θέρμανση κτιρίων χάρη στην κλιματικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή. Οι πολιτικές αυτές περιλαμβάνουν αναγνώριση και επιβράβευση της συνεισφοράς των αντλιών θερμότητας στη διαμόρφωση του συνολικού δείκτη για την επίδοση σχετικά με τις ΑΠΕ καθώς και αντίστοιχες προδιαγραφές υπέρ της ενεργειακής αποδοτικότητας την οποία εξυπηρετούν οι αντλίες θερμότητας λόγω του υψηλού συντελεστή COP (coefficient of performance).

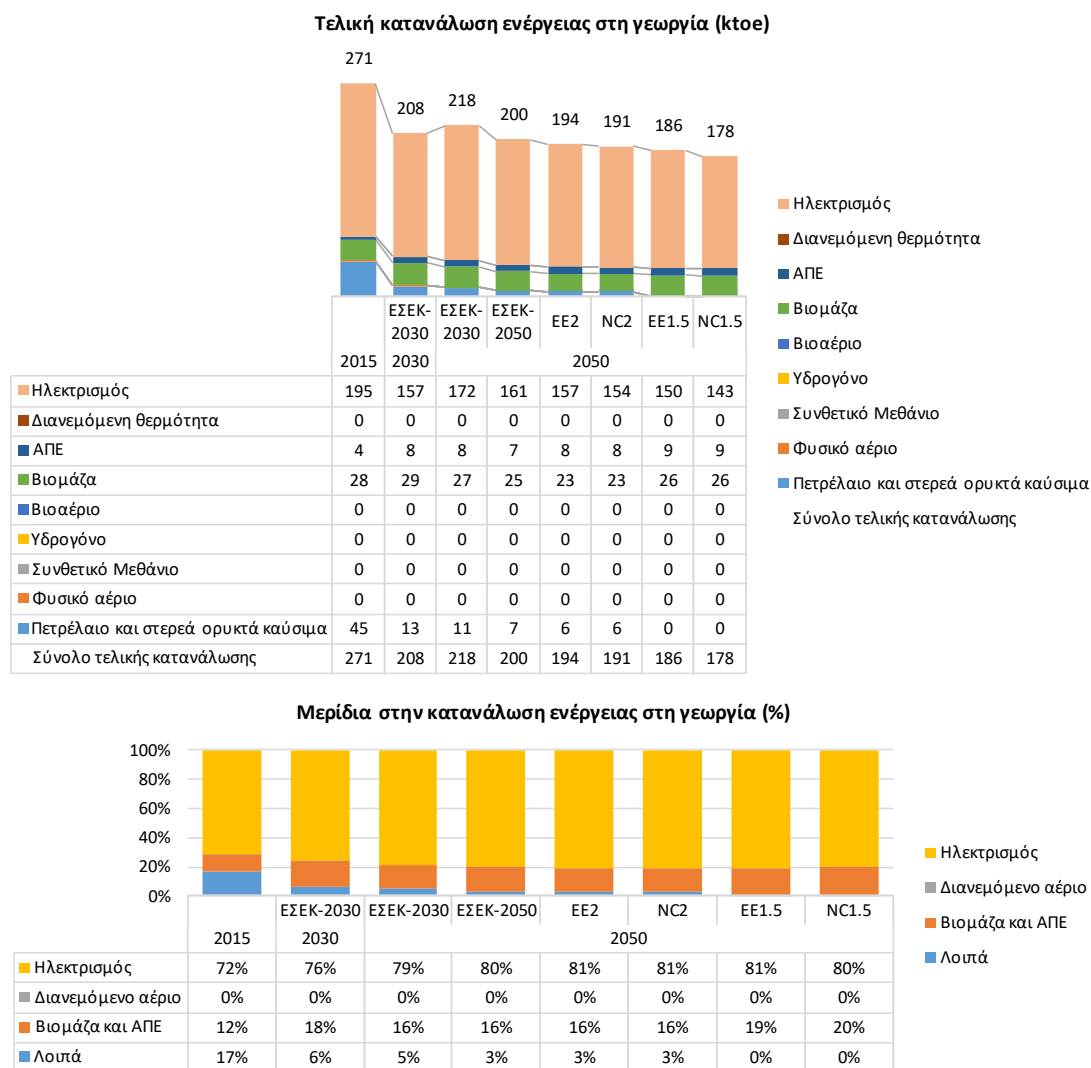
Σχήμα 13: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών



Το φιλόδοξο πρόγραμμα ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού αποθέματος απαιτεί σημαντικού ύψους επενδύσεις, οι οποίες έχουν κατά μέσο όρο αυξημένο κόστος ανά μονάδα επιφάνειας κτιρίου, γιατί εφαρμόζονται στο σύνολο σχεδόν του κτιριακού αποθέματος, δηλαδή περιλαμβάνουν και δύσκολες περιπτώσεις ενεργειακής αναβάθμισης.

Τα σενάρια μακροχρόνιας στρατηγικής προβλέπουν ότι κατ' αρχήν εφαρμόζονται σε μεγάλη έκταση πολιτικές που επιδιώκουν την άρση κάθε εμποδίου στη λήψη της επενδυτικής απόφασης ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίου, τα οποία συνήθως αφορούν σε τεχνική αβεβαιότητα, έλλειψη πληροφόρησης, εμπόδια στην πρόσβαση σε χρηματοδότηση και θεσμικά ζητήματα. Τέτοια μέτρα είναι η κατάλληλη προσαρμογή οικοδομικών κανονισμών, πιστοποίησης και εγγυήσεων, κανονισμοί πολυκατοικιών, συστήματα χρηματοδοτήσεων από τρίτους και η υποχρέωση των εταιρειών παροχής ενέργειας να υποβοηθούν τα έργα εξοικονόμησης ενέργειας, κλπ.

Σχήμα 14: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στη γεωργία



Τα μέτρα αυτά οδηγούν τους επενδυτές να θεωρούν εύλογου μεγέθους επιτόκια προεξόφλησης για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας των επενδύσεων στην ενεργειακή αναβάθμιση, αντί υψηλά επιτόκια υποκειμενικού χαρακτήρα, που συνήθως λαμβάνονται υπόψη για επενδυτές με χαμηλό εισόδημα ή δυσκολία χρηματοδότησης.

Μέτρα που βασίζονται σε πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης και προδιαγραφές ελάχιστης απόδοσης συνδυασμένες με κίνητρα ή αντικίνητρα μπορεί να είναι αποτελεσματικά ώστε οι επενδυτές να συνυπολογίζουν τα σχετικά οφέλη ή τις σχετικές ποινές μαζί με το όφελος από το κόστος της ενέργειας που θα εξοικονομηθεί. Επίσης, μέτρα άμεσης επιδότησης μέρους της δαπάνης ή του επιτοκίου δανεισμού θα χρειασθούν ώστε να περιληφθούν στις ενεργειακές αναβαθμίσεις και περιπτώσεις κτιρίων με δυσκολία αναβάθμισης και επενδυτών με οικονομική δυσπραγία.

Στην παρούσα μελέτη δεν έχει μελετηθεί στο απαιτούμενο βάθος ο βέλτιστος συνδυασμός μέτρων για την υποβοήθηση της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων σε μεγάλη έκταση. Έγινε η υπόθεση ότι θεσμικά και άλλα μέτρα εξασφαλίζουν ότι τα επιτόκια προεξόφλησης είναι σε εύλογο επίπεδο και ότι σειρά άλλων μέτρων που συνδυάζουν προδιαγραφές ενεργειακής επίδοσης κτιρίων και άμεση επιδότηση δαπάνης ή δανεισμού οδηγούν σε μεγάλο όφελος από την εξοικονόμηση που υπερβαίνει

σημαντικά το χρηματικό όφελος από τη μείωση της δαπάνης αγοράς καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό προσομοιώθηκαν οι αποφάσεις σε μεγάλη ανάλυση κατά είδος κτιρίου και κατηγορία καταναλωτή ώστε να καλυφθεί η μεγάλης έκτασης ενεργειακή αναβάθμιση όπως χρειάζεται για την επίτευξη των στόχων κάθε σεναρίου.

Πίνακας 5: Επενδυτικές δαπάνες και δείκτες κόστους-οφέλους για την ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους κτιρίων

	2020-2030	2031-2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Κατοικίες							
Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων							
Μέσος ετήσιος ρυθμός ενεργειακής αναβάθμισης	1.28%	1.01%	1.24%	1.29%	1.24%	1.52%	1.32%
Μέση επενδυτική δαπάνη κατ' έτος (εκατ. €)	593	306	454	551	473	838	616
Μέσο χρηματικό όφελος επιπλέον της μείωσης δαπάνης αγοράς καυσίμου σε ετήσια βάση (€/τυπ εξοικονόμησης)	305	90	944	1373	1040	1557	1421
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων							
Μέση επενδυτική δαπάνη κατ' έτος για την αγορά εξοπλισμού κάθε είδους κατά την αντίστοιχη περίοδο (εκατ. €)	3488	3712	3687	3896	3721	4553	3759
Ετήσιο κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου ανά μονάδα δαπάνης για αγορά ενέργειας (λόγος CAPEX/OPEX)	33%	31%	31%	35%	30%	50%	30%
Μέση ετήσια απόδοση ενεργειακών εξοπλισμών κτιρίων για θερμικές χρήσεις	1.03	1.34	1.35	1.44	1.37	1.65	1.36
Τελική κατανάλωση ενέργειας σε όλες τις χρήσεις ανά μονάδα επιφανείας κατοικιών (kWh/τμ)	60.5	48.4	45.1	40.6	44.1	31.3	57.2
Κτίρια τομέα υπηρεσιών							
Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων							
Μέσος ετήσιος ρυθμός ενεργειακής αναβάθμισης	0.57%	0.44%	0.67%	0.78%	0.70%	0.94%	0.80%
Μέση επενδυτική δαπάνη κατ' έτος (εκατ. €)	128	112	154	175	159	207	181
Μέσο χρηματικό όφελος επιπλέον της μείωσης δαπάνης αγοράς καυσίμου σε ετήσια βάση (€/τυπ εξοικονόμησης)	311	88	945	1375	1043	1569	1422
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων							
Μέση επενδυτική δαπάνη κατ' έτος για την αγορά εξοπλισμού κάθε είδους (εκατ. €)	1050	1058	1014	1145	1026	1208	1129
Ετήσιο κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου ανά μονάδα δαπάνης για αγορά ενέργειας (λόγος CAPEX/OPEX)	67%	60%	64%	77%	63%	79%	67%
Μέση ετήσια απόδοση ενεργειακών εξοπλισμών κτιρίων για θερμικές χρήσεις	1.85	2.14	2.17	2.28	2.19	2.34	2.27
Τελική κατανάλωση ενέργειας σε όλες τις χρήσεις ανά μονάδα επιφανείας κτιρίων (kWh/τμ)	86.1	62.1	58.9	55.0	58.1	52.2	65.2

Είναι εύλογο ότι η επενδυτική απόφαση για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου συνυπολογίζει τη δαπάνη επένδυσης και τα οφέλη από τη μείωση του λογαριασμού ενέργειας σε ετήσια βάση. Όμως στα οφέλη συνυπολογίζονται και έμμεσα οφέλη τα οποία κατάλληλες πολιτικές μπορούν να αναδείξουν. Τα έμμεσα οφέλη μπορεί να προκύψουν από τη βελτιωμένη ενεργειακή ποιότητα του κτιρίου, το οποίο αναβαθμίζει την αξία του στην αγορά ακινήτων. Μπορεί επίσης τα οφέλη να αντιστοιχούν σε αποφυγή κυρώσεων όταν, λόγω της ανακαίνισης, τα χαρακτηριστικά του κτιρίου συμμορφώνο-

νται με σχετικά πρότυπα και κανονισμούς. Η συμμόρφωση στους κανονισμούς επίσης παρέχει όφελος γιατί διευκολύνει την ενοικίαση ή πώληση της ιδιοκτησίας στο μέλλον. Με τον τρόπο αυτό η κανονιστική πολιτική επιφέρει έμμεσα κίνητρα για τη βελτίωση της ανακαίνισης και της αποδοτικότητας.

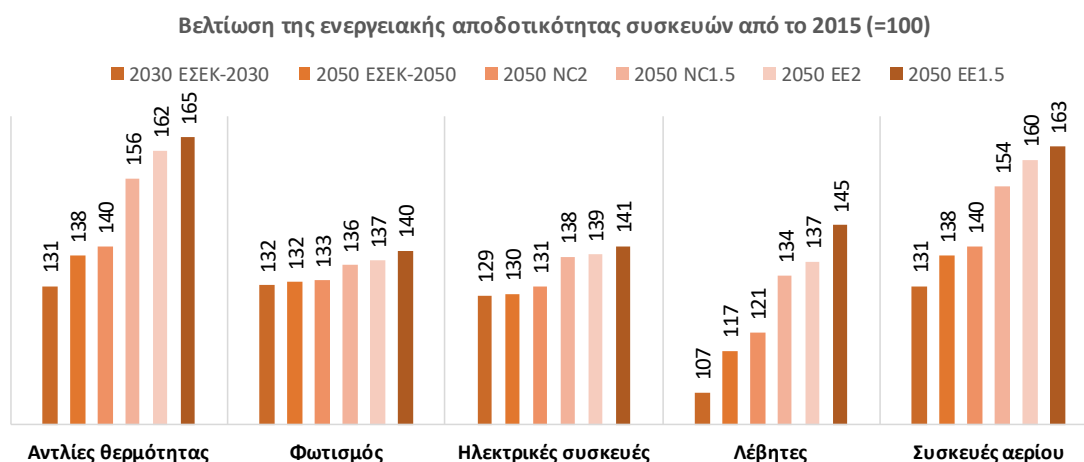
Το χρηματικό όφελος που προστίθεται στην εξοικονόμηση λογαριασμών ενέργειας μπορεί απλά να αναπαριστά την μοναδιαία αξία ή την τιμή εκκαθάρισης αγοράς πιστοποιητικών, των λεγόμενων λευκών πιστοποιητικών, ή την έμμεση αξία που αντιστοιχεί σε πολιτική που υποχρεώνει τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να πραγματοποιούν εξοικονόμηση ενέργειας στις εγκαταστάσεις των πελατών τους. Το ύψος του έμμεσου χρηματικού οφέλους, που προστίθεται στο όφελος από τη μείωση της δαπάνης αγοράς ενέργειας, αποτελεί μεταβλητή ελέγχου ώστε να προσομοιωθεί κατά σενάριο η ένταση και η ταχύτητα ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται η μέση τιμή του έμμεσου χρηματικού οφέλους στον σχετικό πίνακα.

Σημαντική επίδραση στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια έχει επίσης η εφαρμογή των προτύπων eco-design για τα οποία γίνεται η υπόθεση ότι συνεχίζουν και στο μέλλον να είναι αυστηρότερα ανάλογα με το σενάριο. Η επιλογή πολύ αποδοτικών συσκευών (που οδηγείται από την εφαρμογή των προτύπων) διευκολύνεται επιπλέον από τη μείωση του κόστους των πιο αποδοτικών συσκευών, η οποία συμβαδίζει με την υπόθεση αυξημένης τεχνολογικής προόδου που επιτυγχάνεται στα σενάρια δραστικής μείωσης των εκπομπών στην Ευρώπη, τα οποία περιλαμβάνονται στα σενάρια της ΜΣ50 για την Ελλάδα.

Πίνακας 6: Τελική κατανάλωσης ενέργειας σε ειδικές ηλεκτρικές χρήσεις και φωτισμό (ktoe)

	2015	2030	2050					
		ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Οικιακός Τομέας	739	1809	1164	1163	1147	1159	1138	1141
Τομέας υπηρεσιών και γεωργία	527	1538	1180	980	882	930	821	849

Σχήμα 15: Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συσκευών



Η θεαματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, στο πλαίσιο των σεναρίων της μακροχρόνιας στρατηγικής, διασφαλίζει πλήρη αποδέσμευση της κατανάλωσης ενέργειας από την οικονομική ανάπτυξη, η οποία χωρίς τα μέτρα πολιτικής θα οδηγούσε σε αύξηση της κατανάλωσης. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι συνεχής μετά το 2020 και είναι μεγάλης έκτασης στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής συγκριτικά με το ΕΣΕΚ-2030 και ιδιαίτερα στα σενάρια ΕΕ, τα οποία στοχεύουν ειδικά στην αποδοτικότητα και στον εξηλεκτρισμό. Το 2050 η μείωση της

τελικής κατανάλωσης ενέργειας στις κατοικίες, συγκριτικά με το 2005, κυμαίνεται μεταξύ 42% και 46% στα σενάρια των 2°C και μεταξύ 45% και 57% στα σενάρια του 1.5°C.

Στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών η αντίστοιχη μείωση είναι μικρότερη και κυμαίνεται μεταξύ 5% και 11% στα σενάρια των 2°C και μεταξύ 12% και 19% στα σενάρια του 1.5°C. Η εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα των υπηρεσιών, συγκριτικά με το 2005, είναι ποσοστιαία μικρότερη συγκριτικά με τον οικιακό τομέα, κυρίως, επειδή η επικρατούσα τάση αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης αφορά στις ειδικές ηλεκτρικές χρήσεις και όχι στη θέρμανση χώρων, δηλαδή σε τομέα όπου οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι σχετικά περιορισμένες. Η κατανάλωση ενέργειας για θερμικές χρήσεις στα κτίρια του τομέα των υπηρεσιών παρουσιάζει μεγάλη μείωση συγκριτικά με το 2005 σε όλα τα σενάρια και σε όλον τον χρονικό ορίζοντα. Σε αυτό συνεισφέρουν και τα κτίρια του δημοσίου τομέα, δεδομένου και του υποδειγματικού ρόλου που διαδραματίζουν στο πλαίσιο της πολιτικής που περιλαμβάνεται στα σενάρια.

Η τάση αύξησης των ειδικών ηλεκτρικών χρήσεων και του φωτισμού είναι σημαντική και στον τομέα των κατοικιών όπου το πλήθος των μικρών συσκευών και των συσκευών επικοινωνίας και ιντερνέτ (τηλεοράσεις, υπολογιστές, φορτιστές κ.α.) αυξάνεται το 2050 κατά 335% σε σχέση με το 2005. Όμως, εφαρμογή των αυστηρών προτύπων eco-design ακυρώνει την τάση αύξησης της αντίστοιχης τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε αυτές τις χρήσεις.

Το ανθρακικό αποτύπωμα της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα μειώνεται θεαματικά λόγω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και του εξηλεκτρισμού των θερμικών χρήσεων. Επιπλέον, στα σενάρια που περιλαμβάνουν διανομή κλιματικά ουδέτερου αερίου, δηλαδή στα σενάρια NC, η μείωση των εκπομπών οφείλεται κατά σημαντικό βαθμό στη χρήση αερίου χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος.

Πίνακας 7: Μείωση των εκπομπών CO₂ στους κτιριακούς τομείς το 2050 σε σύγκριση με το 2005

	2030	2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Κατοικίες	-72.6%	-79.1%	-82.9%	-87.9%	-94.6%	-98.6%	-100.0%
Υπηρεσίες	-69.6%	-79.4%	-85.3%	-90.0%	-95.9%	-97.7%	-100.0%

4.3.2 Κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία

Η βιομηχανία μελετάται χωριστά κατά κλάδο και βιομηχανική διεργασία. Η προβολή του όγκου παραγωγής κατά κλάδο στο μέλλον είναι τμήμα του μακροοικονομικού σεναρίου και παραμένει η ίδια σε όλα τα σενάρια.

Διαφοροποίηση υπάρχει μεταξύ των σεναρίων σχετικά με το ποσοστό χρήσης ανακυκλωμένων υλικών, το οποίο όταν είναι υψηλό περιορίζει την πρωτογενή παραγωγή του αντίστοιχου υλικού. Η δυνατότητα αυτή υπάρχει στην περίπτωση της Ελλάδας για το αλουμίνιο, αν και σε μικρό βαθμό επειδή μεγάλο τμήμα της πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου εξάγεται και επομένως η αύξηση της δευτερογενούς παραγωγής έχει μικρή επίπτωση στην πρωτογενή παραγωγή, το γυαλί και το clinker (ως πρώτη ύλη για το τσιμέντο). Χαρτοπολτός και πρωτογενής σίδηρος και ατσάλι δεν παράγονται σε αξιοσημείωτες ποσότητες στην Ελλάδα. Η αύξηση της ανακύκλωσης και γενικότερα η αναδιάρθρωση της μεταποίησης ώστε να μειωθεί η παραγωγή ενεργοβόρων υλικών και πρώτων υλών αποτελούν μέρος των πολιτικών προώθησης της κυκλικής οικονομίας, στο πλαίσιο της οποίας η ανακύκλωση δεν περιορίζεται μόνο σε υλικά αλλά επεκτείνεται και σε τμήματα συσκευών και εξοπλισμών με επέκταση του χρόνου ζωής τους, καθώς και μείωση του όγκου των βιομηχανικών απορριμμάτων και των συσκευασιών. Για τα σενάρια EE και εν μέρει μόνο για το σενάριο NC1.5 γίνεται η υπόθεση ότι αναπτύσσονται πολιτικές προς την κατεύθυνση της κυκλικής οργάνωσης της μεταποίησης, οι οποίες είναι πιο εντατικές στο σενάριο EE1.5 και λιγότερο στο σενάριο EE2.

Η μείωση του όγκου παραγωγής ενεργοβόρων υλικών στα σενάρια αυτά δεν γίνεται σε βάρος της προστιθέμενης αξίας των σχετικών κλάδων της βιομηχανίας, αλλά γίνεται υπόθεση σημαντικής αύξησης της παραγωγικότητας της ενέργειας στους αντίστοιχους κλάδους. Οι μελέτες είναι ακόμα περιορισμένες σχετικά με το εύρος και την οικονομικότητα της κυκλικής οικονομίας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και επομένως οι σχετικές υποθέσεις στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης είναι αβέβαιες. Λόγω αυτής της αβεβαιότητας, έγινε η υπόθεση ότι η επίπτωση της κυκλικής οικονομίας στη μείωση των όγκων ζήτησης ενεργοβόρων υλικών είναι περιορισμένη και λαμβάνει χώρα μόνο μακροχρόνια.

Πίνακας 8: Όγκοι παραγωγής ενεργοβόρων υλικών σε σενάρια με πολιτική για την κυκλική οικονομία

Δείκτης όγκου παραγωγής (2015=100)	2015	2030	2050		
			Σενάρια NC	EE2	EE1.5
Χάλυβας	100	151	153	148	140
Μη σιδηρούχα μέταλλα	100	109	111	109	107
Χημεία	100	116	132	124	114
Μη μεταλλικά ορυκτά	100	105	106	101	93
Γυαλί	100	113	145	137	127

Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου άνθρακα από καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό των εξής μέτρων, τα οποία ιεραρχούνται κατωτέρω κατά αύξουσα σειρά δυσκολίας:

Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάκτησης θερμότητας και συστημάτων ελέγχου των βιομηχανικών διεργασιών. Εκτιμάται ότι υφίσταται ακόμα ανεκμετάλλευτο δυναμικό ενεργειακής εξοικονόμησης με βάση σχετικά οικονομικά αποδοτικές λύσεις, όμως μέρος του δυναμικού αυτού θα έχει ήδη εξαντληθεί κατά την πρώτη δεκαετία, στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ-2030, και κατά συνέπεια σχετικά μικρό επιπλέον δυναμικό εξοικονόμησης θα παραμείνει για εκμετάλλευση στην περίοδο μετά το 2030. Για την περίοδο αυτή, προστίθενται όμως και δυνατότητες παρέμβασης, οι οποίες είναι λιγότερο αποδοτικές οικονομικά και οι οποίες αναμένονται να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο της αυξημένης φιλοδοξίας για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των σεναρίων της μακροχρόνιας στρατηγικής.

Αλλαγή ορυκτών καυσίμων και χρήση φυσικού αερίου αντί προϊόντων πετρελαίου και στερεών καυσίμων. Η χρήση στερεών καυσίμων είναι αρκετά περιορισμένη στην Ελλάδα, κυρίως επειδή δεν λειτουργούν υψικάμινοι και δεν υπάρχει οργανωμένο σύστημα προσφοράς λιθάνθρακα και κοκ. Η χρήση πετρελαίου είναι αρκετά διαδεδομένη και πράγματι η υποκατάστασή του από φυσικό αέριο θα έχει μικρή αλλά θετική επίπτωση στις εκπομπές διοξειδίου άνθρακα. Όμως η υποκατάσταση αυτή ήδη συντελείται και αναμένεται να επεκταθεί κατά την πρώτη δεκαετία, δηλαδή ως τμήμα των εξελίξεων στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ-2030. Μικρές δυνατότητες περαιτέρω μείωσης των εκπομπών μέσω χρήσης φυσικού αερίου στη βιομηχανία θα υπάρχουν μετά το 2030.

Εξηλεκτρισμός διάφορων ενεργειακών χρήσεων στη βιομηχανία με προτεραιότητα στις ενεργειακές διεργασίες χαμηλής ενθαλπίας και στη συνέχεια με τη διάδοση της χρήσης αντλιών θερμότητας μέσης και υψηλής θερμοκρασίας σε διάφορες χρήσεις αλλά και σε παραγωγή ατμού. Υπάρχει επίσης δυνατότητα μακροχρόνια να υποκατασταθούν ορισμένες θερμικές διεργασίες στη χημική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων και σε ορισμένους άλλους κλάδους από ηλεκτρικές διεργασίες. Ο πλήρης εξηλεκτρισμός των βιομηχανικών διεργασιών δεν είναι εφικτός και θα παραμείνει χρήση καυσίμων σε καμίνους υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. τσιμέντο και υλικά κατασκευών), σε επεξεργασία μετάλλων, γυαλιού και αλλού. Βεβαίως ο εξηλεκτρισμός οδηγεί σε μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, όταν η παραγωγή ηλεκτρισμού είναι ιδιαίτερα μειωμένων εκπομπών, ή καλύτερα κοντά στο να είναι κλιματικά ουδέτερη.

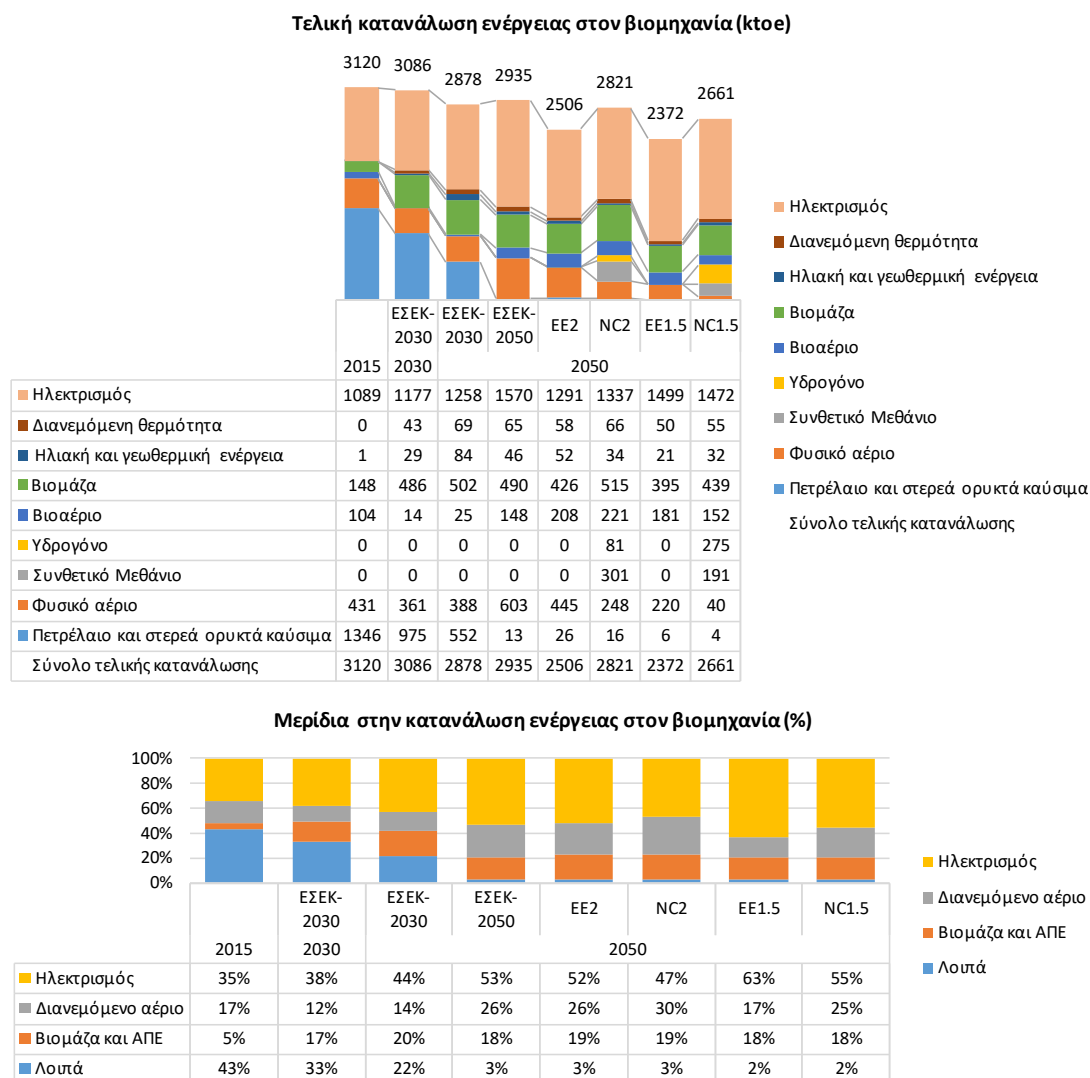
Επέκταση της χρήσης βιομηχανικών απορριμμάτων, βιοαερίου και βιομάζας για καύση σε βιομηχανικές διεργασίες. Το κύριο εμπόδιο της επέκτασης αυτής είναι σχετικό με την αποτελεσματικότητα

της αλυσίδας τροφοδοσίας των προϊόντων αυτών. Η αδιάλειπτη και ασφαλής τροφοδοσία της βιομηχανίας είναι δύσκολο να επιτευχθεί για τα προϊόντα αυτά εκτός αν αυξηθούν σημαντικά οι τιμές τους. Βιομηχανία pellets σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να αναπτυχθεί εφόσον υπάρχει αρκετός και βέβαιος όγκος ζήτησης και εφόσον οι τιμές είναι σε υψηλά επίπεδα. Όμως σε κάθε περίπτωση θα υπάρχει ισχυρός ανταγωνισμός με τη χρήση της ξυλείας στην παραγωγή προηγμένης γενιάς βιοκαυσίμων, τα οποία παρέχουν δυνατότητα ανάκτησης μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας συγκριτικά με την καύση σε βιομηχανικές χρήσεις. Η ανάπτυξη βιοαερίου σε μεγάλη κλίμακα αποτελεί στόχο των σεναρίων της μακροχρόνιας στρατηγικής με σκοπό όμως κυρίως την ανάμειξη στα δίκτυα διανομής αερίου παρά για απευθείας τροφοδοσία βιομηχανιών. Η τελευταία θα απαιτήσει ειδική υποδομή διανομής, η οποία δεν θα έχει την οικονομικότητα των κανονικών δικτύων διανομής αερίου. Μέσω της μείξης στη διανομή αερίου, βεβαίως, θα ωφεληθεί και η βιομηχανία μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μέσω της μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος του διανεμόμενου αερίου. Η χρήση βιομηχανικών απορριμμάτων σε ενεργειακές καύσεις στη βιομηχανία είναι κατ' ανάγκη περιορισμένης έκτασης λόγω περιορισμένου όγκου προσφοράς και περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και επειδή τμήμα των απορριμμάτων αυτών δεν θεωρείται και δεν συγκαταλέγεται στις ανανεώσιμες πηγές.

Πίνακας 9: Ενεργειακή ένταση και ανθρακικό αποτύπωμα της βιομηχανίας

<i>Ενεργειακή ένταση της προστιθέμενης αξίας στη βιομηχανία (toe/Μ€)</i>								
	2015	2030	2050					
		ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	ΕΕ2	NC2	ΕΕ1.5	NC1.5
Σύνολο βιομηχανίας	217.0	162.7	107.3	109.4	93.4	105.1	88.4	99.2
Χαλυβουργία	423.2	439.7	381.7	426.5	371.5	418.8	340.7	373.1
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1281.9	955.4	818.7	904.4	819.9	880.0	769.2	820.6
Χημική βιομηχανία	133.9	96.3	59.0	56.0	43.3	54.8	42.1	50.0
Μη μεταλλικά ορυκτά	905.6	624.3	366.0	356.9	306.9	351.7	325.8	389.6
Χαρτί	201.6	207.4	175.8	172.1	128.1	159.1	101.4	129.3
Τρόφιμα και ποτά	92.9	76.2	52.7	52.1	43.9	48.6	39.9	42.7
Βιομηχανία εξοπλισμών	21.3	16.7	12.4	12.4	9.8	11.7	8.5	9.7
Υφαντουργία	59.8	36.3	33.4	42.0	32.7	37.5	31.9	33.5
Λοιπή βιομηχανία	303.9	253.7	200.2	201.9	170.1	191.4	151.8	170.7
<i>Ανθρακικό αποτύπωμα της ενεργειακής κατανάλωσης της βιομηχανίας (tCO2/toe)</i>								
	2015	2030	2050					
		ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	ΕΕ2	NC2	ΕΕ1.5	NC1.5
Σύνολο βιομηχανίας	1.900	1.438	1.017	0.498	0.456	0.203	0.227	0.006
Χαλυβουργία	0.982	0.374	0.194	0.143	0.173	0.063	0.089	0.001
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1.605	1.036	0.800	0.587	0.526	0.219	0.335	0.000
Χημική βιομηχανία	1.393	0.835	0.460	0.282	0.289	0.153	0.134	0.000
Μη μεταλλικά ορυκτά	3.476	3.202	2.450	1.035	0.931	0.418	0.418	0.025
Χαρτί	1.231	0.576	0.456	0.430	0.294	0.125	0.065	0.000
Τρόφιμα και ποτά	1.117	0.473	0.163	0.190	0.168	0.060	0.028	0.000
Βιομηχανία εξοπλισμών	1.578	1.337	1.135	0.472	0.350	0.196	0.138	0.000
Υφαντουργία	1.101	0.417	0.326	0.254	0.092	0.058	0.061	0.000
Λοιπή βιομηχανία	1.514	1.240	0.958	0.277	0.276	0.143	0.114	0.000

Σχήμα 16: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στη βιομηχανία



Η μεταβολή του τύπου τεχνολογίας ορισμένων διεργασιών σε κλάδους της βιομηχανίας έχει περιορισμένη εφαρμογή στην Ελλάδα επειδή δεν υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές λύσεις για τις διεργασίες που λειτουργούν στην Ελλάδα. Σε κάθε περίπτωση, όμως, ο κύκλος επενδύσεων στον βασικό εξοπλισμό των βιομηχανικών διεργασιών βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση, όμως συνήθως οι κύκλοι αυτοί είναι αργοί και οι σχετικές επενδύσεις δεν αποφασίζονται με βάση το ενεργειακό κόστος αλλά με βάση τη συνολική ανταγωνιστικότητα της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στον κλάδο παραγωγής. Η θετική επίδραση για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των επενδύσεων στη βιομηχανία λαμβάνεται υπόψη στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, όμως η εξέλιξη των σχετικών επενδύσεων είναι αποτέλεσμα αποφάσεων της ιδιωτικής οικονομίας και δεν μπορεί εύκολα να επιταχυνθούν μέσω της ενεργειακής πολιτικής.

Στα σενάρια της ΜΣ50 επιτυγχάνεται μείωση της ενεργειακής έντασης της προστιθέμενης αξίας βιομηχανίας μεταξύ 55 και 59% το έτος 2050, συγκριτικά με το έτος 2015. Η μείωση αυτή είναι 25% το 2030 στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ. Επίσης, τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής επιτυγχάνουν μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της ενεργειακής κατανάλωσης της βιομηχανίας μεταξύ 90 και 100%

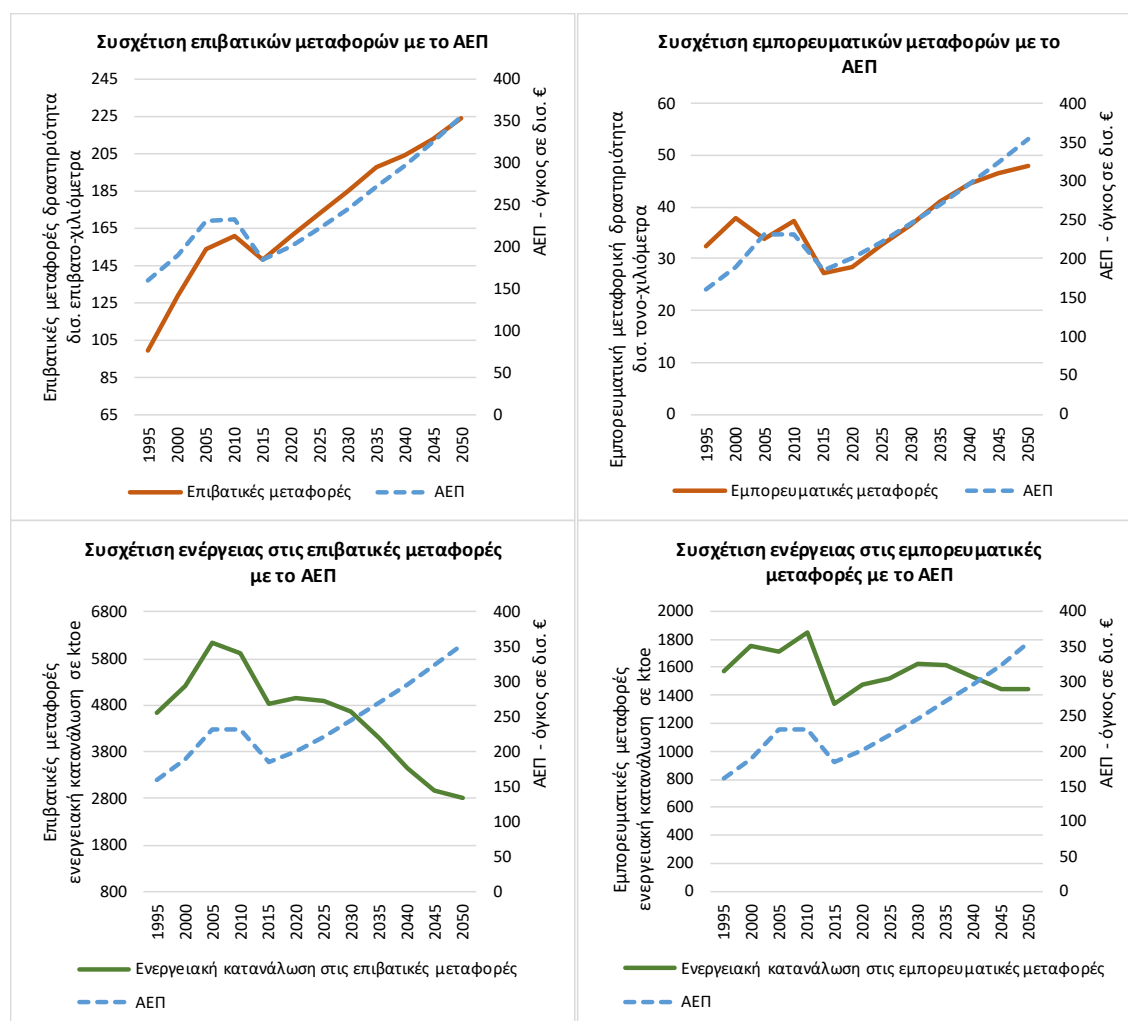
το έτος 2050, συγκριτικά με το έτος 2015. Η μείωση αυτή ανέρχεται στο 24% κατά το έτος 2030 στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ.

Στο μείγμα καυσίμων της βιομηχανίας, η ηλεκτρική ενέργεια πλησιάζει το 60% περίπου το έτος 2050 στα σενάρια του 1.5°C και το 50% στα σενάρια των 2°C. Η βιομάζα και οι ΑΠΕ δεν ξεπερνούν το 18% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, σε επίπεδο όμως πολύ υψηλότερο από το 5% του 2015. Το μερίδιο του αερίου διατηρείται υψηλό στα σενάρια που προβλέπουν την ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, αλλά μειώνεται στο σενάριο ΕΕ1.5 στο οποίο κυριαρχεί ο εξηλεκτρισμός.

4.3.3 Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές

Η δραστηριότητα στον τομέα των μεταφορών αυξάνεται ως συνάρτηση της μεγέθυνσης του ΑΕΠ, της αύξησης της κινητικότητας των επιβατών και την επέκταση του όγκου του εμπορίου. Η συσχέτιση με το ΑΕΠ είναι μεγάλη για τη δραστηριότητα τόσο των επιβατικών όσο και των εμπορευματικών μεταφορών. Ιδίως, η τάση αύξησης των αεροπορικών μεταφορών έχει ελαστικότητα μερικές φορές μεγαλύτερη της μονάδας ως προς το ρυθμό μεταβολής του ΑΕΠ. Παρόμοια αυξητική τάση έχουν οι εμπορευματικές μεταφορές με φορτηγά, οι οποίες τείνουν να αυξάνονται περισσότερο από το ΑΕΠ.

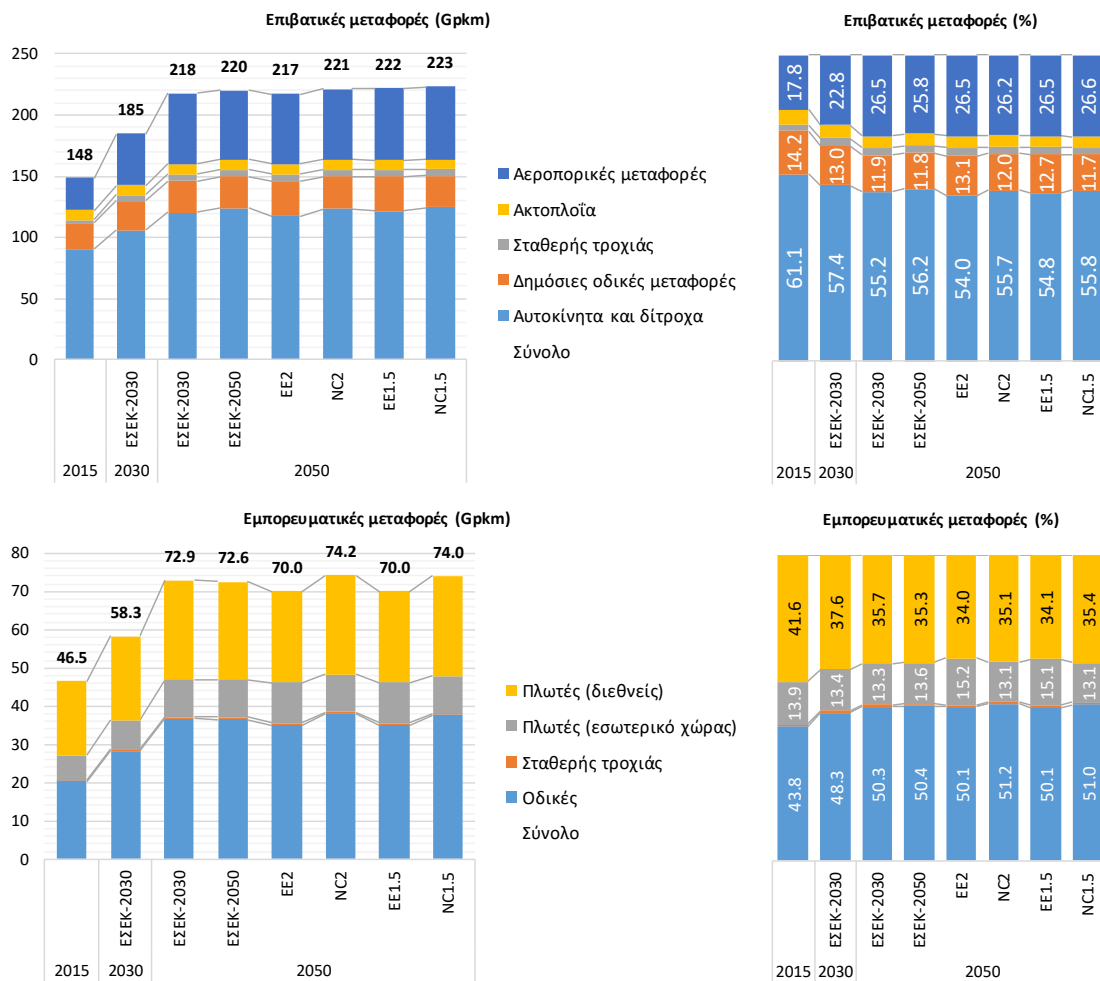
Σχήμα 17: Συσχέτιση της δραστηριότητας και της ενέργειας στις μεταφορές με το ΑΕΠ



Η μεταβολή των μεριδίων των μεταφορικών μέσων στη συνολική μεταφορική δραστηριότητα είναι δύσκολη και απαιτεί μεγάλες επενδύσεις σε υποδομές, τόσο των μεταφορών όσο και στην οργάνωση των πόλεων και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διατήρηση του μεριδίου των δημόσιων μεταφορών

στο σύνολο των επιβατικών μεταφορών, δηλαδή η ανακοπή της πτωτικής τάσης του μεριδίου αυτού, είναι δύσκολη και απαιτεί σημαντικές επενδύσεις καθώς και προσαρμογή της συμπεριφοράς των μετακινουμένων επιβατών. Ομοίως, η διατήρηση του μεριδίου των μέσων σταθερής τροχιάς είναι δύσκολη και ιδίως η αύξηση του μεριδίου του σιδηρόδρομου στο σύνολο της δραστηριότητας των εμπορευματικών μεταφορών απαιτεί όχι μόνο υποδομές, αλλά και αυτοματισμούς και σημαντική αναδιάρθρωση του εφοδιαστικού συστήματος. Τα οφέλη για την ενέργεια και το κλίμα από τη στροφή προς τις δημόσιες συγκοινωνίες και τα μέσα σταθερής τροχιάς είναι αναμφισβήτητα λόγω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και της ευχέρειας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχεδιάζεται να είναι κλιματικά ουδέτερη.

Σχήμα 18: Διάρθρωση της δραστηριότητας του τομέα των μεταφορών



Τα σενάρια ΜΣ50 περιλαμβάνουν πολιτικές που ενισχύουν τη στροφή προς τις δημόσιες συγκοινωνίες και τα μέσα σταθερής τροχιάς, όμως οι προβολές στο μέλλον δείχνουν ότι η στροφή αυτή είναι περιορισμένη και το σύστημα των μεταφορών παραμένει αρκετά αδρανές. Ειδικά όμως στα σενάρια ΕΕ, που δίδουν έμφαση στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, γίνεται η υπόθεση ότι επικρατούν σταδιακά και συμπεριφορές των μετακινουμένων επιβατών με μεγαλύτερη προτίμηση από την ιστορική τάση για τα δημόσια μέσα μεταφοράς, για κοινή χρήση αυτοκινήτων και για αύξηση της χρήσης μέσω μεταφορών που δεν καταναλώνουν ενέργεια.

Ενώ η συσχέτιση της μεταφορικής δραστηριότητας με το ΑΕΠ παραμένει ισχυρή στο μέλλον, τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής προβάλλουν αποδέσμευση της ενεργειακής κατανάλωσης από

τον ρυθμό αύξησης της μεταφορικής δραστηριότητας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης όλων των μέσων μεταφοράς η οποία είναι ιδιαίτερα υψηλή για τα ηλεκτροκινούμενα μέσα τα οποία έχουν ενεργειακή απόδοση σχεδόν τριπλάσια συγκριτικά με κάθε άλλη τεχνολογία. Η αποδέσμευση της ενεργειακής κατανάλωσης από τη μεταβολή της μεταφορικής δραστηριότητας είναι σημαντικά μεγαλύτερη στις επιβατικές μεταφορές συγκριτικά με τις εμπορευματικές μεταφορές, επειδή στις πρώτες ο εξηλεκτρισμός είναι σαφώς μεγαλύτερος.

4.3.4 Οδικές μεταφορές

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των ιδιωτικών επιβατικών μετακινήσεων μειώνεται σημαντικά στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής ιδίως προς το τέλος του χρονικού ορίζοντα της ανάλυσης. Όπως αναφέρθηκε, αυτό οφείλεται στη σημαντική αύξηση του μεριδίου της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των επιβατικών αυτοκινήτων και των δίκτροχων. Τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής επιβεβαιώνουν ότι η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα επιβατικά αυτοκίνητα και δίκτροχα αποτελεί βασική στρατηγική με αδιαμφισβήτητα οφέλη.

Σχήμα 19: Διάρθρωση του στόλου στις οδικές μεταφορές



Η διείσδυση της ηλεκτρικής ενέργειας, αρχικά, πραγματοποιείται στην κατηγορία των μικρών αυτοκινήτων (κατηγορίας Α και Β), ήδη λίγο πριν το 2030 και εντείνεται σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες, κυριαρχώντας στο σύνολο του στόλου των αυτοκινήτων, ιδίως στα σενάρια ΕΕ. Επιτυγχάνεται εξηλεκτρισμός της μεσαίας κατηγορίας αυτοκινήτων, κυρίως κατά τη δεκαετία 2030-2040, οπότε και η τεχνολογία αναμένεται να έχει ωριμάσει περαιτέρω. Η ηλεκτροκίνηση στις ιδιωτικές επιβατικές μεταφορές καλύπτει τις επιβατικές ανάγκες για μετακινήσεις μεταξύ κατοικίας και τόπου εργασίας στα αστικά κέντρα καθώς και τις μετακινήσεις μικρής απόστασης στα προάστια των πόλεων. Αναφορικά με τις μετακινήσεις μεγάλων υπεραστικών αποστάσεων, αυτές αναμένονται να πραγματοποιούνται κυρίως με υβριδικά οχήματα (με καλώδιο φόρτισης κυρίως), που θα χρησιμοποιούν βενζίνη ή ντίζελ με υψηλά ποσοστά ανάμειξης βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων ή με κλιματικά ουδέτερα καύσιμα στα σενάρια NC.

Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα επιβατικά αυτοκίνητα επεκτείνεται ακόμα περισσότερο στα σενάρια του 1.5°C όπου και απαιτείται εξάλειψη των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου μέχρι το 2050. Παράλληλα, στα σενάρια του 1.5°C εφαρμόζονται υψηλότερα ποσοστά ανάμειξης βιοκαυσίμων στο ντίζελ και στη βενζίνη στο σενάριο ΕΕ κατά το 2050 και χρησιμοποιούνται σημαντικά υψηλότερες ποσότητες κλιματικά ουδέτερων καυσίμων σε σχέση με το αντίστοιχο σενάριο των 2°C.

Αναφορικά με τις οδικές εμπορευματικές μεταφορές, παρατηρείται σημαντική αύξηση της κατανάλωσης βιοντίζελ μετά το 2030 με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου από το συγκεκριμένο τομέα. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες ποσότητες βιοκαυσίμων καταναλώνονται στο σενάριο ΕΕ του 1.5°C δεδομένης της απουσίας της συνεισφοράς συνθετικών υποκατάστατων του ντίζελ ή του φυσικού αερίου. Εξάλλου, σημαντικές ποσότητες βιοντίζελ καταναλώνονται και στο σενάριο ΕΕ των 2°C.

Η συνεισφορά των βιοκαυσίμων είναι μικρότερη στα σενάρια NC των 2°C και του 1.5°C, εκ κατασκευής. Στα συγκεκριμένα σενάρια, υπάρχει συνεισφορά και από συνθετικά καύσιμα (υγρά και αέρια) τα οποία μετριάζουν τις συνολικές ανάγκες σε βιοκαύσιμα. Αντίθετα από τα σενάρια ΕΕ, στα σενάρια NC παρατηρείται σημαντική αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου (αναμειγμένου με συνθετικό αέριο) στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές.

Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές αναμένεται να είναι εφικτή κυρίως σε ελαφρά φορτηγά μικρότερα των 3.5 τόνων μικτού βάρους ή και στις ελαφρύτερες κατηγορίες των βαρέων φορτηγών (μικρότερες των 7.5 τόνων μικτού βάρους). Τα ηλεκτρικά φορτηγά θα χρησιμοποιούνται κυρίως για την κάλυψη των εμπορευματικών μεταφορικών αναγκών σε αστικό κυρίως περιβάλλον, δεδομένης της σχετικά μικρής αυτονομίας των οχημάτων.

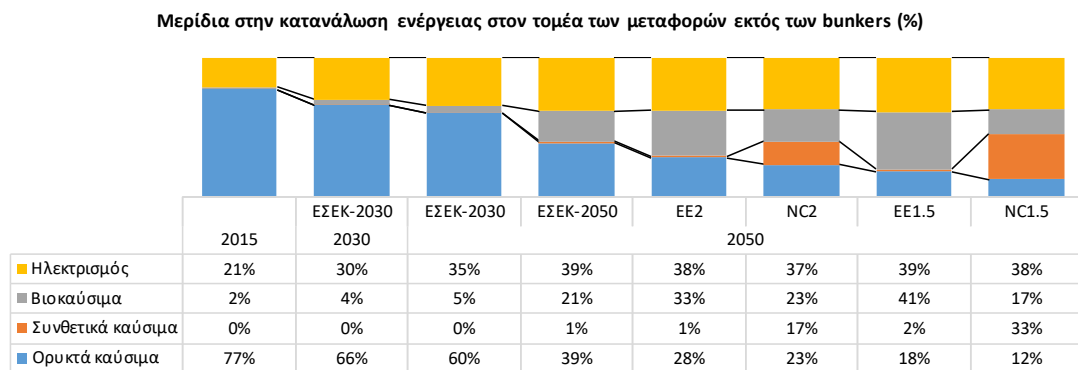
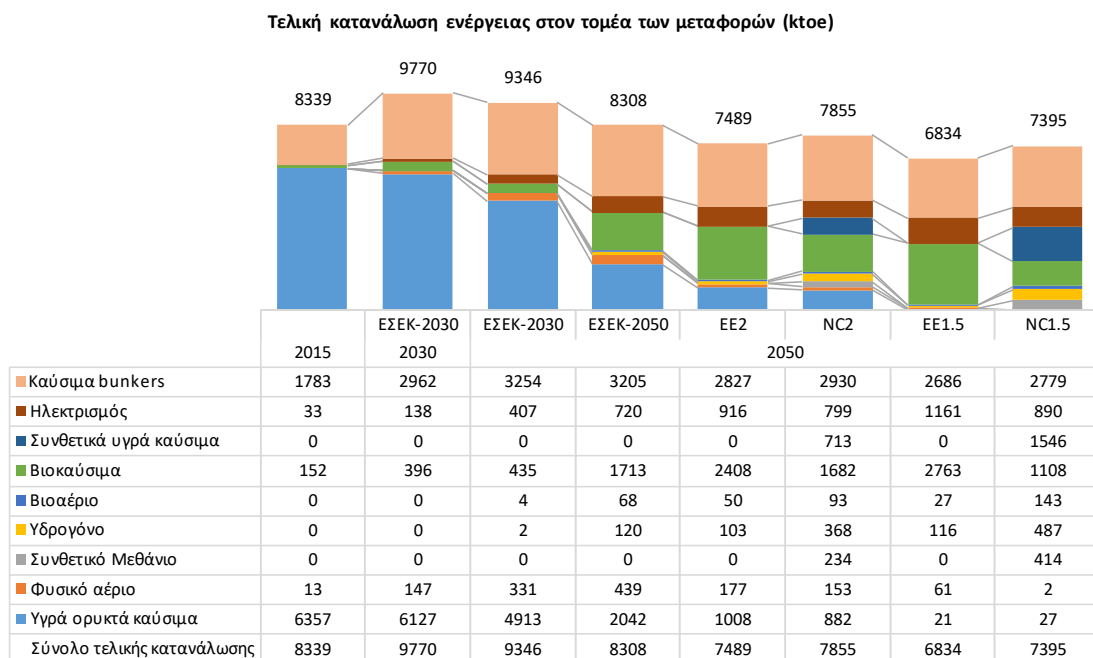
Τα οχήματα υδρογόνου με κυψέλες καυσίμου έχουν μειωμένη ανταγωνιστικότητα συγκριτικά με τα ηλεκτρικά οχήματα και με τη χρήση κλιματικά ουδέτερων καυσίμων σε συμβατικά οχήματα. Αυτό αντανακλά συντηρητική υπόθεση σχετικά με την τεχνολογική πρόοδο των κυψελών καυσίμων. Τυχόν δραστική μείωση του κόστους της τεχνολογίας αυτής θα επέτρεπε τη διείσδυσή τους σε χρήσεις οδικών μεταφορών μεγάλων χιλιομετρικών αποστάσεων τόσο για αυτοκίνητα όσο και για δημόσια μέσα μεταφοράς (λεωφορεία) και φορτηγά. Υπόθεση για κάποια σχετική βελτίωση του κόστους των κυψελών καυσίμου γίνεται στο πλαίσιο των σεναρίων NC, όπου πράγματι παρατηρείται αύξηση της χρήσης οχημάτων κυψελών καυσίμων σε τομείς των οδικών μεταφορών.

4.3.5 Μη-Οδικές μεταφορές

Τα σενάρια προβάλλουν σημαντική αύξηση της χρήσης βιοκηροζίνης στις αεροπορικές μεταφορές από το 2030 και μετά, δεδομένου ότι αυτή αποτελεί μακράν την πιο πρακτική και φθηνή λύση για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος των αεροσκαφών. Στο σενάριο ΕΕ του 1.5°C, η βιοκηροζίνη αναμένεται να καλύψει σχεδόν εξ ολοκλήρου τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες του τομέα. Η συνεισφορά της βιοκηροζίνης είναι ελαφρώς μικρότερη στο σενάριο ΕΕ των 2°C. Η χρήση των βιοκαυσίμων είναι σχετικά μικρότερη στα σενάρια NC λόγω της συνεισφοράς της κλιματικά ουδέτερης συνθετικής βιοκηροζίνης που είναι διαθέσιμη στα συγκεκριμένα σενάρια. Η διείσδυση τόσο της βιοκηροζίνης

όσο και της συνθετικής κηροζίνης πραγματοποιείται ως αποτέλεσμα ανάμειξης αυτών με συμβατική κηροζίνη και διάθεσης στα αεροσκάφη. Τέλος, παρατηρείται μικρή συνεισφορά στη μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου από χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε αεροσκάφη που εκτελούν δρομολόγια εγχώριων μικρών αποστάσεων, το 2050.

Σχήμα 20: Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές



Η συνεισφορά των βιοκαυσίμων στον τομέα της ναυσιπλοΐας εξελίσσεται ανάλογα όπως για τις αεροπορικές μεταφορές. Η χρήση υδροποιημένου φυσικού αερίου προβλέπεται να αποκτήσει ένα μερίδιο στις θαλάσσιες μεταφορές λόγω του οφέλους για την ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά μόνο αν το αέριο αυτό γίνει κλιματικά ουδέτερο στο μέλλον (δηλαδή είναι βιομεθάνιο και συνθετικό κλιματικά ουδέτερο μεθάνιο) μπορεί να συνεχισθεί η χρήση του μακροχρόνια.

Τα σενάρια ΕΕ υποδεικνύουν τη χρήση βιοκαυσίμων ως τον πιο ανταγωνιστικό και πρακτικό τρόπο μείωσης των εκπομπών στη ναυτιλία. Η υψηλότερη κατανάλωση βιοκαυσίμων στη ναυτιλία συγκριτικά με άλλα σενάρια παρατηρείται στο σενάριο ΕΕ του 1.5°C. Η χρήση υδροποιημένου αερίου που περιέχει βιομεθάνιο και συνθετικό αέριο διατηρεί σημαντικό μερίδιο στην αγορά της ναυτιλίας στα σενάρια NC.

Όσον αφορά στις σιδηροδρομικές μεταφορές, όλα τα σενάρια παρουσιάζουν στροφή προς τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας έναντι του ντίζελ, ως αποτέλεσμα του εξηλεκτρισμού των σιδηροδρομικών γραμμών και της αγοράς ηλεκτρικών τρένων. Παρατηρείται μικρή εναπομένουσα κατανάλωση υγρών καυσίμων στις σιδηροδρομικές μεταφορές κατά το 2050, η οποία ωστόσο αποτελείται από βιοντίζελ ή συνθετικό ντίζελ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω των περιορισμών στη συνολική ποσότητα βιοκαυσίμων λόγω περιορισμένης πρώτης ύλης βιομάζας, γίνεται η υπόθεση ότι μέσω κατάλληλων προδιαγραφών και κανονιστικών παρεμβάσεων, ή εναλλακτικά μέσω διαφοροποιημένων τιμών στην αγορά, επιτυγχάνεται χρήση των βιοκαυσίμων κατά προτεραιότητα στα μέσα μεταφοράς, για τα οποία είναι δύσκολο να εφαρμοσθούν άλλες εναλλακτικές λύσεις, όπως ηλεκτροκίνηση ή κυψέλες καυσίμου. Προτεραιότητα επομένως για τα βιοκαύσιμα δίδεται κατά σειρά στις αεροπορικές μεταφορές και στη ναυτιλία, αλλά και στα βαρέα φορτηγά. Υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις χωρίς χρήση βιοκαυσίμων για τα ελαφρά φορτηγά, λεωφορεία και αυτοκίνητα.

Βεβαίως, πρέπει να γίνει περαιτέρω επεξεργασία σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής της πολιτικής αυτής για τα βιοκαύσιμα στην πράξη. Τα βιοκαύσιμα του μέλλοντος, όπως και τα συνθετικά καύσιμα, θα είναι πλήρως υποκατάστατα με τα ορυκτά υγρά καύσιμα, επομένως η ανάμειξή τους και η διάθεσή τους χωριστά για κάθε τομέα των μεταφορών θα είναι αντικείμενο απόφασης των διανομέων. Μόνο ισχυρή κρατική παρέμβαση θα μπορέσει να εξασφαλίσει ότι θα διατίθενται τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα κατά προτεραιότητα στους τομείς των μεταφορών για τους οποίους δεν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις.

4.3.6 Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές

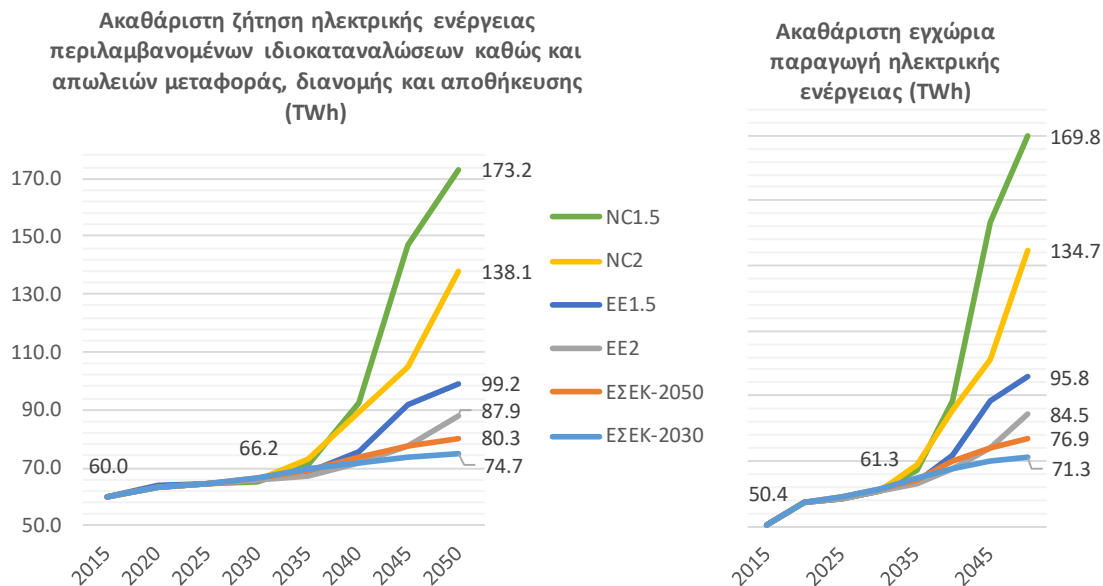
Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ως τελικό καύσιμο στις μεταφορές φθάνει στο μέγιστο τις 13.5 TWh στο σενάριο EE1.5 και κυμαίνεται περίπου στις 10.5 TWh στα υπόλοιπα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Οι ποσότητες αυτές είναι σχετικά μικρές για το σύνολο της ηλεκτροπαραγωγής το 2050 και οφείλεται στη μεγάλη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Όμως αν συνυπολογισθεί η ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, ο τομέας των μεταφορών θα χρειασθεί το μέγιστο περίπου 60 TWh το 2050 στο σενάριο NC1.5, όσο δηλαδή το μέγεθος του σημερινού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της χώρας. Η ποσότητα αυτή περιορίζεται στις 40 TWh στο σενάριο NC2 και είναι της τάξης των 15 TWh στα σενάρια EE το 2050. Η συνολική ποσότητα βιοκαυσίμων είναι μεγάλη στα σενάρια EE όπου δεν αναπτύσσονται τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα και φθάνει το 41% του συνόλου στο σενάριο EE1.5 (33% στο σενάριο EE2). Τα βιοκαύσιμα περιορίζονται στο 20% περίπου του συνόλου στα σενάρια NC στα οποία αναπτύσσονται τα συνθετικά καύσιμα. Τυχόν περιορισμένες δυνατότητες παραγωγής βιοκαυσίμων θα οδηγούσε αναγκαστικά στην ανάπτυξη της παραγωγής συνθετικών καυσίμων και επομένως μεγάλης αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα στις μεταφορές.

4.3.7 Το ηλεκτρικό σύστημα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η ηλεκτρική ενέργεια διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη μετάβαση προς την κλιματική ουδετερότητα. Η μακροχρόνια στρατηγική συνδυάζει τη δραστική μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος στην ηλεκτροπαραγωγή με την επέκταση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας στην τελική κατανάλωση σε όλους τους τομείς ώστε να συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών τους. Για το λόγο αυτό αυξάνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα σενάρια του ΜΣ50. Η αύξηση της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε τομείς θερμότητας και κίνησης οδηγεί σε αύξηση της συνολικής ζήτησης παρά τη μείωση της κατανάλωσης λόγω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε όλα τα σενάρια του ΜΣ50. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμεύει στην παραγωγή υδρογόνου και συνθετικών αερίων και καυσίμων η οποία οδηγεί σε σημαντική αύξηση της συνολικής ζήτησης. Η ανάπτυξη της χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας επίσης οδηγεί σε αύξηση της ακαθάριστης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των απωλειών στην παραγωγή υδρογόνου το οποίο

είναι η βάση της χημικής αποθήκευσης. Η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί στον εξηλεκτρισμό του τομέα των μεταφορών έχει μικρή σχετικά επίδραση στο σύνολο, λόγω της μεγάλης ενεργειακής απόδοσης της ηλεκτροκίνησης. Ο εξηλεκτρισμός των θερμικών χρήσεων επεκτείνεται μέσω της διείσδυσης αντλιών θερμότητας στα κτίρια και αργότερα στον βιομηχανικό τομέα, οι οποίες επίσης έχουν μεγάλη ενεργειακή απόδοση. Επομένως η αύξηση της συνολικής ζήτησης λόγω της διείσδυσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμικές χρήσεις είναι επίσης σχετικά μικρή. Οι μεγάλες επιπλέον ποσότητες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχονται από την παραγωγή υδρογόνου και συνθετικών αερίων και καυσίμων, και ειδικότερα εκείνων που διανέμονται στους καταναλωτές, όπως προβλέπεται στα σενάρια NC, σε αντίθεση με τα σενάρια EE τα οποία δεν περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες τελικής κατανάλωσης υδρογόνου και συνθετικών αερίων και καυσίμων.

Σχήμα 21: Ακαθάριστη ζήτηση και ηλεκτροπαραγωγή



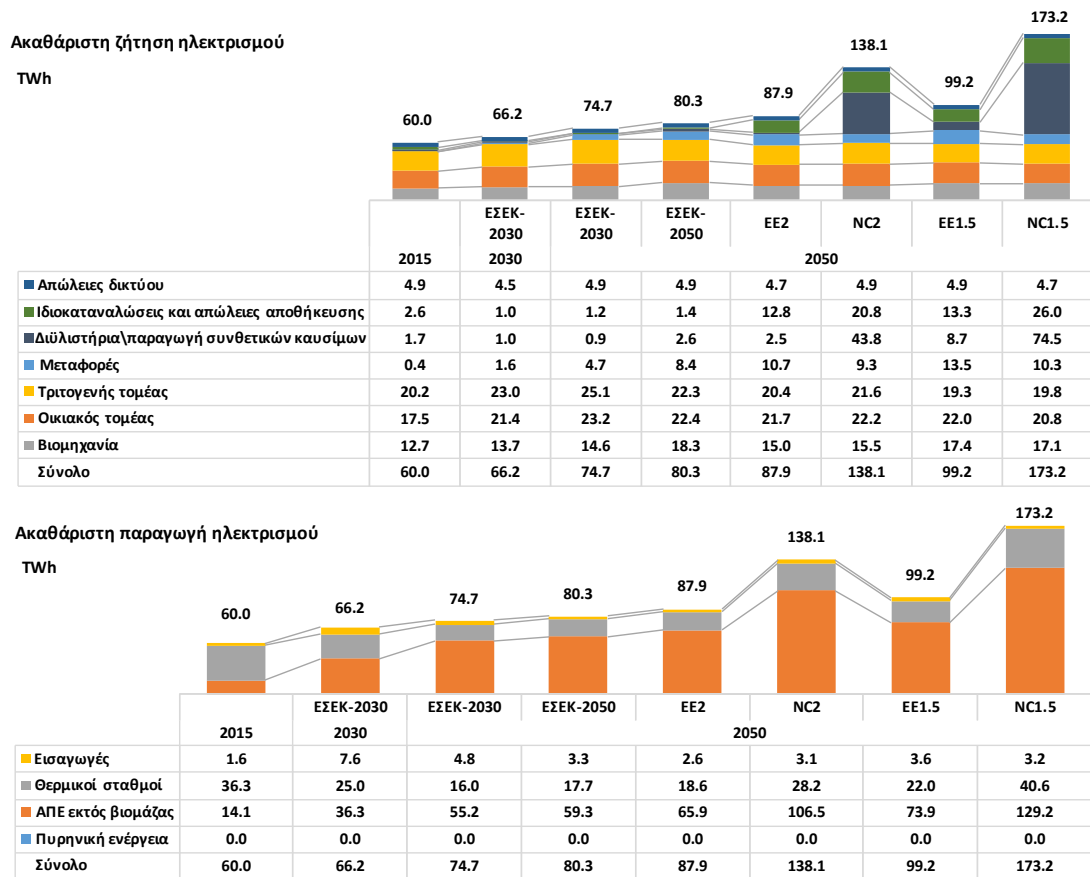
Η καύση ορυκτών καυσίμων στο σημερινό Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα καθιστά την ηλεκτροπαραγωγή ως τον τομέα με τις υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το έτος 2030, ήδη στο πλαίσιο του σεναρίου ΕΣΕΚ-2030, το ηλεκτρικό σύστημα προβλέπεται να μειώσει σημαντικά το ανθρακικό του αποτύπωμα λόγω της απόφασης απόσυρσης των λιγνιτικών μονάδων και της σημαντικής διείσδυσης των ΑΠΕ. Στο πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής η ηλεκτρική ενέργεια έχει ένα συστημικό ρόλο. Αφού το ανθρακικό αποτύπωμά της καταστεί πιο μικρό ως αποτέλεσμα του ΕΣΕΚ για το έτος 2030, αμέσως μετά το 2030 ο εξηλεκτρισμός θερμότητας και κινητικότητας θα επιτρέψει μείωση των εκπομπών και στους τομείς της ζήτησης ενέργειας ήδη από τα πρώτα στάδια της μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα. Με τον τρόπο αυτό η απανθρακοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής και ο εξηλεκτρισμός αποτελούν μια από τις κύριες βασικές πολιτικές. Η απανθρακοποίηση συνάδει και με την οικονομικότητα και το κόστος δεδομένου ότι οι τιμές CO₂ στο ETS συνεχίζουν και επιταχύνουν την αυξητική τους πορεία μετά το 2030 χάρη και στον μηχανισμό σταθεροποίησης της αγοράς που εφαρμόζεται από το 2018. Προς το 2050, το ανθρακικό αποτύπωμα της ηλεκτροπαραγωγής αντιστοιχεί μόνο σε καύση μικρών ποσοτήτων αερίου για λόγους εξισορρόπησης και εφεδρείας, ενώ στα σενάρια του 1.5°C γίνεται αρνητικό μέσω εφαρμογής τεχνικών δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα, οι οποίες εφαρμόζονται στις μονάδες αερίου αλλά και σε μονάδες βιομάζας (για αρνητικές εκπομπές και έτσι την αντιστάθμιση θετικών εκπομπών σε άλλους τομείς).

Πίνακας 10: Ανθρακικό αποτύπωμα στην ηλεκτροπαραγωγή

grCO ₂ /kWh	2015	2030	2040	2050				
		ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5	
Σύνολο ηλεκτροπαραγωγής	600	112	58	40	3	9	-5	-3
Μόνο θερμικοί σταθμοί	821	252	191	150	17	56	-27	-18
Βιομηχανικοί λέβητες	208	128	118	70	41	12	1	0

Η επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αναβαθμίζουν τον ρόλο του ηλεκτρικού συστήματος, καθώς είτε μέσω της απευθείας χρήσης ηλεκτρισμού, είτε μέσω των συνθετικών καυσίμων (υδρογόνο ή συνθετικοί υδρογονάνθρακες), των οποίων η παραγωγή βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας μηδενικού κλιματικού αποτυπώματος, γίνεται δυνατή η απεξάρτηση των τομέων τελικής κατανάλωσης από τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Σχήμα 22: Ζήτηση και παραγωγή ηλεκτρισμού

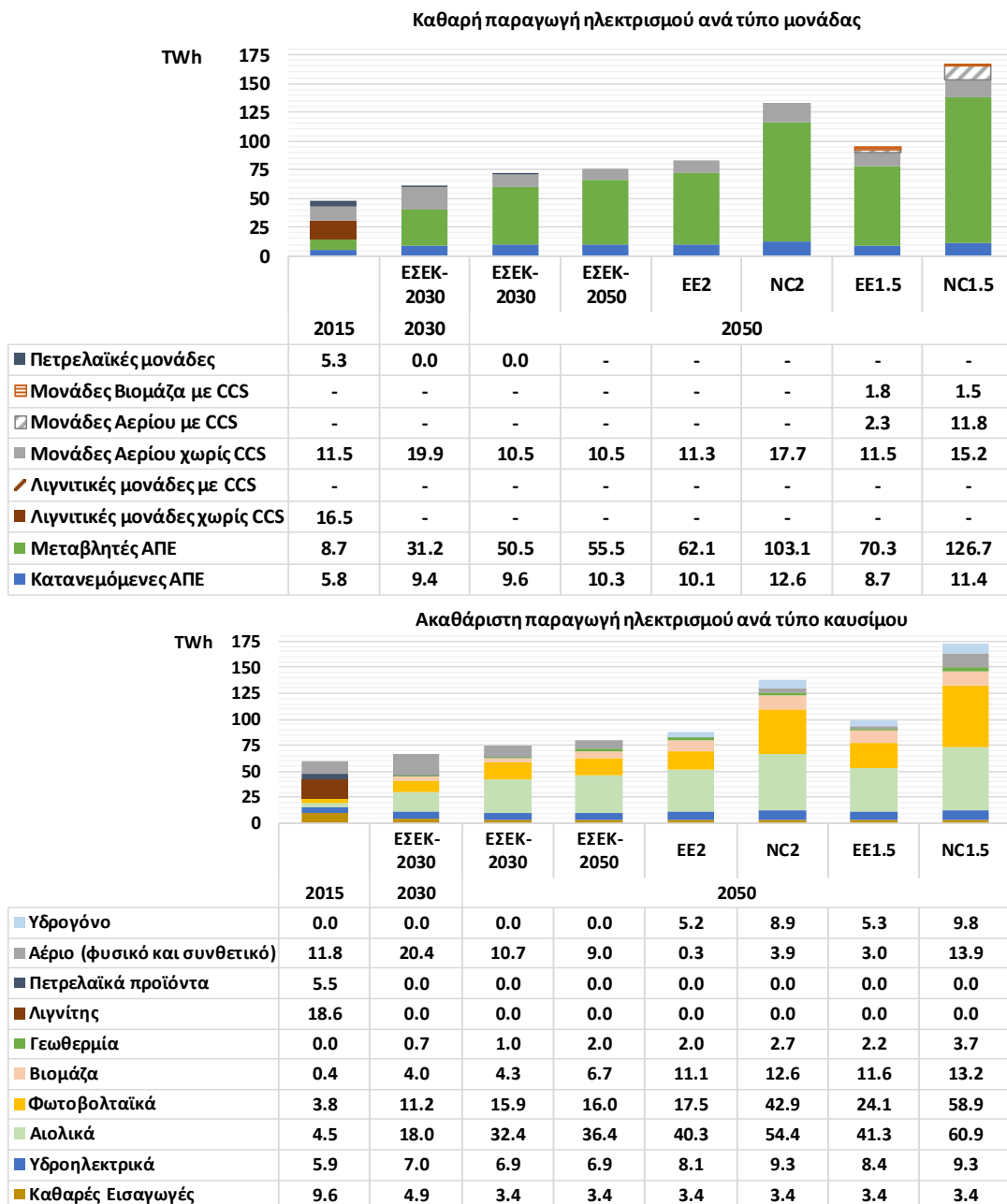


Τα σενάρια ενώ δε θεωρούν ουσιαστικά επέκταση των διεθνών ηλεκτρικών διασυνδέσεων μακροχρόνια (από 6.9 GW σε 7.1 GW το 2050) εκτιμούν μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσής τους από τις συζευγμένες αγορές σε όλη την ευρύτερη περιοχή². Γίνεται η υπόθεση ότι περισσότερο από 70% της

² Δεν έχουν ληφθεί υπόψη στις προσομοιώσεις νέα έργα ηλεκτρικών διασυνδέσεων ή σημαντικών αναβαθμίσεων υφιστάμενων πέρα των ήδη προγραμματισμένων. Τυχόν ενσωμάτωση νέων έργων στις προσομοιώσεις δύναται μεταξύ άλλων να επηρεάσει το ισοζύγιο εισαγωγών/εξαγωγών, καθώς και τη διάρθρωση του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής και θα πρέπει μελλοντικά να εξεταστούν αντίστοιχα σενάρια και οι επιπτώσεις τους.

ηλεκτρικής τους ισχύος διατίθεται στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρησιμότητά τους στην παροχή υπηρεσιών εφεδρείας και ευελιξίας. Το σύνολο των καθαρών εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αναμένεται να μειωθεί μακροχρόνια και να αλλάξει διάρθρωση. Οι προβολές στο μέλλον δείχνουν μεταβολές στη διακύμανση των εισαγωγών και εξαγωγών. Συγκεκριμένα, οι μονάδες της χώρας γίνονται εξαγωγικές μακροχρόνια κατά τις χρονικές στιγμές αφθονίας των ΑΠΕ, κυρίως κατά τις ώρες μεγάλης ηλιοφάνειας, παρέχοντας έτσι ενέργεια και εξισορρόπηση στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, ενώ το σύστημα εισάγει ενέργεια από τις χώρες αυτές κατά τις χρονικές στιγμές έλλειψης ΑΠΕ.

Σχήμα 23: Δομή της ηλεκτροπαραγωγής κατά είδος μονάδας και είδος καυσίμου



Η μεγάλη ανάπτυξη των μεταβλητών ΑΠΕ και η εξάλειψη των εκπομπών οδηγεί σε σημαντική μεγέθυνση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η διακοπή της χρήσης μονάδων λιγνίτη και η στροφή σε μονάδες αερίου μειώνει, λόγω τεχνικών χαρακτηριστικών, τις ανάγκες ιδιοκατανάλωσης των μονάδων. Ωστόσο, λόγω της ανάπτυξης μονάδων αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη έκταση για λόγους εξισορρόπησης των ΑΠΕ, αυξάνονται για αυτή τη χρήση οι αντίστοιχες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί η παραγωγή υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων στα σενάρια NC. Το συνολικό μέγεθος του ηλεκτρικού συστήματος αυξάνεται μεταξύ 15 και 20% το 2050 συγκριτικά με το σενάριο βασικών πολιτικών, αλλά η μεγέθυνσή του είναι πολύ μεγαλύτερη στα σενάρια NC, συγκεκριμένα 84% στο NC2 και 130% στο NC1.5 το 2050.

Η εξισορρόπηση της μεταβλητότητας των ΑΠΕ και οι εφεδρείες συστήματος καλύπτονται από συνδυασμό αποθηκευτικών μέσων και ελεγχόμενων μέσων ηλεκτροπαραγωγής. Η παροχή εφεδρειών στρεφόμενης εφεδρείας από θερμικές μονάδες που λειτουργούν υπό αυτόματο έλεγχο διατηρείται και επομένως, παρά τη θεαματική μεγέθυνση της ισχύος των αποθηκευτικών μέσων, σημαντική ισχύς θερμικών μονάδων παραμένει σε λειτουργία. Οι θερμικές μονάδες εφεδρείας, παρέχοντας στρεφόμενη εφεδρεία, οφείλουν να λειτουργούν αρκετά πάνω από τα τεχνικά τους ελάχιστα ώστε να είναι σε θέση να παρέχουν μεταβλητότητα προς τα κάτω αλλά και κάτω από την πλήρη τους ισχύ ώστε να παρέχουν μεταβλητότητα προς τα πάνω. Η καύση αερίων σε θερμικές μονάδες παραμένει κατά συνέπεια στο σύστημα σε αρκετή έκταση και δυνητικά η καύση αυτή θα εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου αν χρησιμοποιεί ορυκτό αέριο. Για την εξάλειψη των εκπομπών, τα σενάρια αναπτύσσουν κατά περίπτωση κλιματικά ουδέτερα καύσιμα και εφαρμόζουν δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα. Όμως τα σενάρια των 2°C δεν εξαλείφουν όλες τις εκπομπές στην ηλεκτροπαραγωγή. Η διατήρηση εφεδρειών από θερμικές μονάδες διευκολύνεται από την ανάπτυξη της χημικής αποθήκευσης μέσω υδρογόνου σε όλα τα σενάρια μακροχρόνια. Η χημική αποθήκευση παρέχει μεγάλη ευελιξία ως προς τους κύκλους αποθήκευσης συγκριτικά με άλλες αποθηκευτικές τεχνολογίες, παρέχει επικουρικές υπηρεσίες στο σύστημα με δυνατότητα αυτόματου ελέγχου από την διαχείριση του συστήματος και έχει μικρό κόστος γιατί βασίζεται στη χρήση ΑΠΕ κατά τις χρονικές στιγμές αφθονίας και περισσεύας των ΑΠΕ (οι οποίες αλλιώς θα περικόπτονταν). Ο συνδυασμός αυτός υπερέχει κάθε άλλου αποθηκευτικού μέσου, τα οποία παρά ταύτα αναπτύσσονται σε όλα τα σενάρια σε μεγάλο βαθμό.

Σε όλα τα σενάρια η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ παρουσιάζει σημαντική αύξηση, φθάνοντας το 2050 να καλύπτει 88%-90% της ακαθάριστης ζήτησης για το έτος 2050, με τις ΑΠΕ μεταβλητής παραγωγής, κυρίως αιολικά και ηλιακά, να παράγουν το μεγαλύτερο μέρος αυτής, από 68% έως 72%. Η εξισορρόπηση της διακύμανσης των μεταβλητών ΑΠΕ επιτυγχάνεται εξαντλώντας τις δυνατότητες αντλησιοταμίευσης και αναπτύσσοντας εγκαταστάσεις μπαταριών σε αποκεντρωμένη και συγκεντρωτική κλίμακα, αλλά και αξιοποιώντας στο μέτρο του δυνατού τις μπαταρίες των αυτοκινήτων. Στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής χρησιμοποιείται επίσης υδρογόνο για χημική αποθήκευση. Σε κάθε όμως περίπτωση, το σύστημα θα χρειάζεται και στρεφόμενη εφεδρεία κατά προτίμηση θερμικής μονάδας ώστε να διασφαλισθεί η αξιόπιστη κάλυψη της μεταβλητότητας και της ευστάθειας. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που η υπολειπόμενη παραγωγή, π.χ. της τάξης το 10-15% ανάλογα με το σενάριο, καλύπτεται από συμβατικές μονάδες (θερμοηλεκτρικές κυρίως σε συνδυασμό με χημική αποθήκευση), οι οποίες λόγω της δυνατότητας ελέγχου της παραγωγής τους καλύπτουν τις ανάγκες του συστήματος σε στρεφόμενη εφεδρεία και ευελιξία, παράλληλα με τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες, τα αντλητικά και τα υδροηλεκτρικά με ταμιευτήρες. Η ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών (και των αντλητικών υδροηλεκτρικών) θεωρείται στο πλαίσιο των σεναρίων της ΜΣ50 περιορισμένη μετά το 2030 όχι για οικονομικούς ή τεχνικούς λόγους αλλά λόγω των πολλών θεσμικών και περιβαλλοντικών δυσκολιών ανάπτυξης τέτοιων νέων έργων. Το τεχνικό τους δυναμικό είναι μεγαλύτερο από αυτό που αναπτύσσεται στα σενάρια της ΜΣ50 και περαιτέρω αξιοποίησή του θα βελτίωνε την οικονομικότητα του συστήματος και επομένως το ζήτημα αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης σε επόμενες μελέτες στο πλαίσιο της ΜΣ50.

Παράλληλα, σημαντική αναμένεται να είναι η συμβολή των διασυνδέσεων, μέσω της σύζευξης των αγορών, στην εξομάλυνση (απορρόφηση) της μεταβλητής παραγωγής των ΑΠΕ, μειώνοντας τις ανάγκες για πόρους εξισορρόπησης του συστήματος και τις ενδεχόμενες περικοπές παραγωγής. Περαιτέρω αναλύσεις και σενάρια θα χρειασθούν για την εκτενέστερη διερεύνηση της μελλοντικής συμβολής των διασυνδέσεων.

Το καύσιμο των θερμικών αυτών μονάδων πρέπει να είναι κλιματικά ουδέτερο (π.χ. βιοαέριο, υδρογόνο ή συνθετικό μεθάνιο) ή να εφαρμόζεται η τεχνική δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (στις εκπομπές μονάδας με φυσικό αέριο), προκειμένου η ηλεκτροπαραγωγή να είναι πλήρως κλιματικά ουδέτερη.

Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την λειτουργία των θερμοηλεκτρικών μονάδων για λόγους εξισορρόπησης, κυρίως φυσικού αερίου, έχει ως αποτέλεσμα την συνέχιση έκλυσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, η οποία αν και μειούμενη, παραμένει έως και το 2050 στα σενάρια βασικών πολιτικών. Η σχεδόν πλήρης εξάλειψη των υπολειπόμενων αυτών εκπομπών στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα μπορεί να επιτευχθεί είτε με σημαντική μείωση του κλιματικού αποτυπώματος του μείγματος αερίου που χρησιμοποιείται από τις συμβατικές μονάδες αερίου, είτε με την χρήση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα (Carbon Capture and Storage – CCS) από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, κάτι που εξαλείφει σχεδόν τις υπολειπόμενες εκπομπές. Αυτό συμβαίνει στα σενάρια 1.5°C στα οποία περιλαμβάνεται η δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου άνθρακα σε μικρή έκταση, σε αντίθεση με τα σενάρια 2°C όπου αυτή η τεχνική δεν αναπτύσσεται.

Η μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του αερίου μείγματος, γίνεται επίσης μέσω της πρόσμιξης σε αυτό αερίων χαμηλού/μηδενικού κλιματικού αποτυπώματος όπως το βιομεθάνιο, το υδρογόνο ή και το συνθετικό μεθάνιο. Οι δυο εναλλακτικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συνδυαστικά.

Στα σενάρια 1.5°C απαιτείται σε μικρή έκταση να παραχθούν και αρνητικές εκπομπές από την ηλεκτροπαραγωγή ώστε να αντισταθμισθούν θετικές εκπομπές από άλλους τομείς. Η καύση βιομάζας (συμπεριλαμβανομένου και βιομεθανίου) σε σταθμούς που είναι εξοπλισμένοι με τεχνολογίες CCS, δημιουργεί κατά σύμβαση αρνητικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου³, αντισταθμίζοντας έτσι τις εκπομπές ανελαστικών τομέων της τελικής κατανάλωσης ενέργειας.

Στα σενάρια του 1.5°C, όπου επιτυγχάνονται μηδενικές εκπομπές του ενεργειακού συστήματος, η χρήση τεχνολογιών CCS στην ηλεκτροπαραγωγή είναι σημαντικός αρωγός του μηδενισμού των υπολειπόμενων εκπομπών του ηλεκτρικού συστήματος.

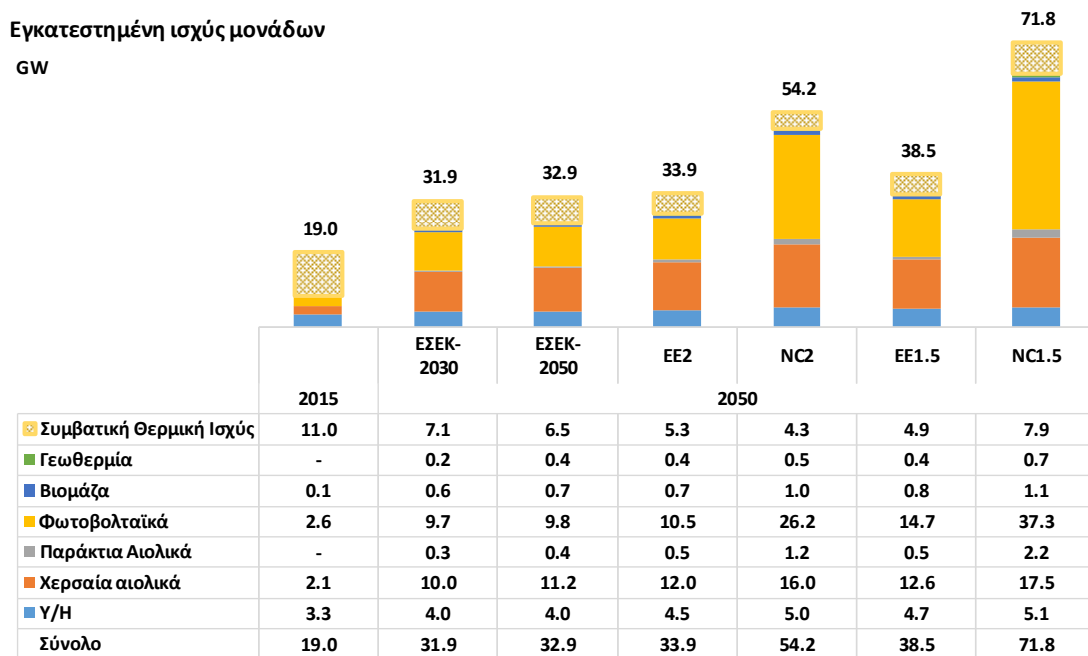
Στα σενάρια των 2°C η καύση φυσικού αερίου περιορίζεται αλλά παραμένει μακροχρόνια παρέχοντας εξισορρόπηση και στρεφόμενη εφεδρεία θερμικών μονάδων. Στο σενάριο EE2 το οποίο δεν περιλαμβάνει παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για τροφοδοσία τελικών καταναλώσεων ενέργειας, αναπτύσσεται μακροχρόνια παραγωγή υδρογόνου στο ηλεκτρικό σύστημα αποκλειστικά για παροχή υπηρεσίας χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα. Χωρίς την υπηρεσία αυτή του υδρογόνου, οι εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου θα ήταν υπερβολικές και το σενάριο δεν θα μπορούσε να επιτύχει το στόχο της προσέγγισης κλιματικής ουδετερότητας στην ηλεκτροπαραγωγή ώστε να μειωθούν επαρκώς οι εκπομπές και σε άλλους τομείς όπως οι μεταφορές και η θερμότητα.

³ Η καύση μιας ποσότητας βιομάζας θεωρείται ότι αποδίδει στην ατμόσφαιρα τόση ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO₂) όσο δεσμεύτηκε κατά την ανάπτυξη της βιομάζας. Οπότε κατά σύμβαση, η καύση βιομάζας έχει μηδενικό κλιματικό αποτύπωμα. Αν δε συνδυαστεί με χρήση τεχνολογιών CCS (Bioenergy CCS - BECCS), αποφεύγεται η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου λόγω της αποθήκευσης τους υπογείως, οπότε θεωρείται κατά σύμβαση ότι το καθαρό κλιματικό αποτύπωμα της βιομάζας σε αυτήν την περίπτωση είναι αρνητικό. Οι τεχνολογίες BECCS οδηγούν δηλαδή σε αρνητικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Όμως στο σενάριο NC2, στο οποίο προβλέπεται παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για τροφοδοσία τελικών καταναλώσεων αερίου, επιτυγχάνεται μεγάλη ευελιξία στην ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό γίνεται εφικτό λόγω της δυνατότητας παραγωγής υδρογόνου κατά τις χρονικές στιγμές αφθονίας των ΑΠΕ και αποθήκευσης του υδρογόνου σε αγωγούς και άλλες αποθηκευτικές μονάδες ώστε η περίσσεια στην αποθήκη υδρογόνου να καλύπτει τη ζήτηση αερίων καυσίμου τελικών καταναλωτών άλλες χρονικές στιγμές κατά τις οποίες υπάρχει στενότητα ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η λεγόμενη έμμεση χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, δηλαδή αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια με την αποθήκευση υδρογόνου χωρίς αναγκαστικά απευθείας καύση υδρογόνου σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με αέριο. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει πολύ αποτελεσματική εξισορρόπηση των ΑΠΕ στο σενάριο NC2 αλλά όχι στο EE2 επειδή στο τελευταίο δεν αναπτύσσεται η παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για τελική κατανάλωση. Κατά συνέπεια, στο EE2 αναπτύσσεται χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το υδρογόνο όμως με απευθείας καύση του αποθηκευμένου υδρογόνου σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με αέριο χωρίς δηλαδή έμμεση χημική αποθήκευση, σε αντίθεση με το σενάριο NC2 όπου η έμμεση αποθήκευση είναι εφικτή.

Όμως, στα σενάρια του 1.5°C δεν είναι επιτρεπτή η καύση φυσικού αερίου, λόγω εκπομπών, εκτός εάν υπάρχει CCS, και δεν αρκεί η έμμεση χημική αποθήκευση και έτσι απαιτείται σε κάθε περίπτωση σημαντική ποσότητα απευθείας χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης αποθηκευμένου υδρογόνου σε μονάδες αερίου. Η άμεση χημική αποθήκευση αναπτύσσεται σε μεγάλη σχετικά έκταση και στα δύο σενάρια του 1.5°C, όμως στο σενάριο EE1.5 η μη ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για τελική κατανάλωση δυσκολεύει ιδιαίτερα την εξισορρόπηση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα με αποτέλεσμα να αυξάνονται το κόστος και οι τιμές συγκριτικά με το σενάριο NC1.5. Στο τελευταίο η συνεισφορά της έμμεσης χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδρογόνου είναι μεγάλη αλλά παρά ταύτα αναπτύσσεται και άμεση χημική αποθήκευση σε αρκετή έκταση.

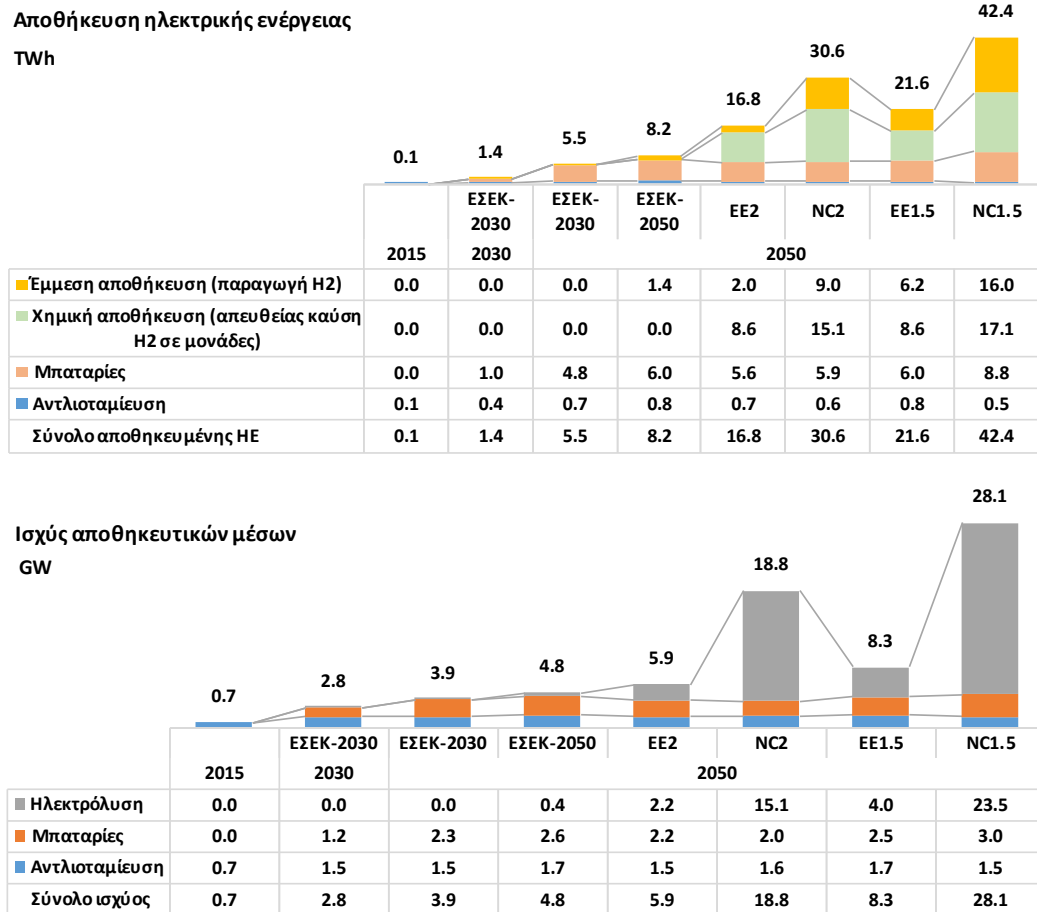
Σχήμα 24: Ισχύς των ΑΠΕ και της συμβατικής παραγωγής



Παρόλο που η παραγωγή από μονάδες ΑΠΕ δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των σεναρίων ως ποσοστό του συνόλου ηλεκτροπαραγωγής, στα σενάρια NC, όπου γίνεται χρήση των νέων ενεργειακών

φορέων (συνθετικών καυσίμων) από τους τελικούς φορείς κατανάλωσης, η μεγάλη αύξηση του όγκου της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί επενδύσεις σε μονάδες ΑΠΕ σε εξαιρετικά μεγάλη κλίμακα. Οι τεχνολογίες ΑΠΕ με τη μεγαλύτερη διείσδυση στο Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα είναι κυρίως τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά λόγω σημαντικού διαθέσιμου δυναμικού, και σε μικρότερο βαθμό οι μονάδες βιομάζας. Η περαιτέρω διείσδυση Υ/Η είναι περιορισμένη λόγω κορεσμού των αξιοποιήσιμων τοποθεσιών. Σε όλα τα σενάρια γίνεται αξιοποίηση τεχνολογιών οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως η γεωθερμία και τα θαλάσσια αιολικά.

Σχήμα 25: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

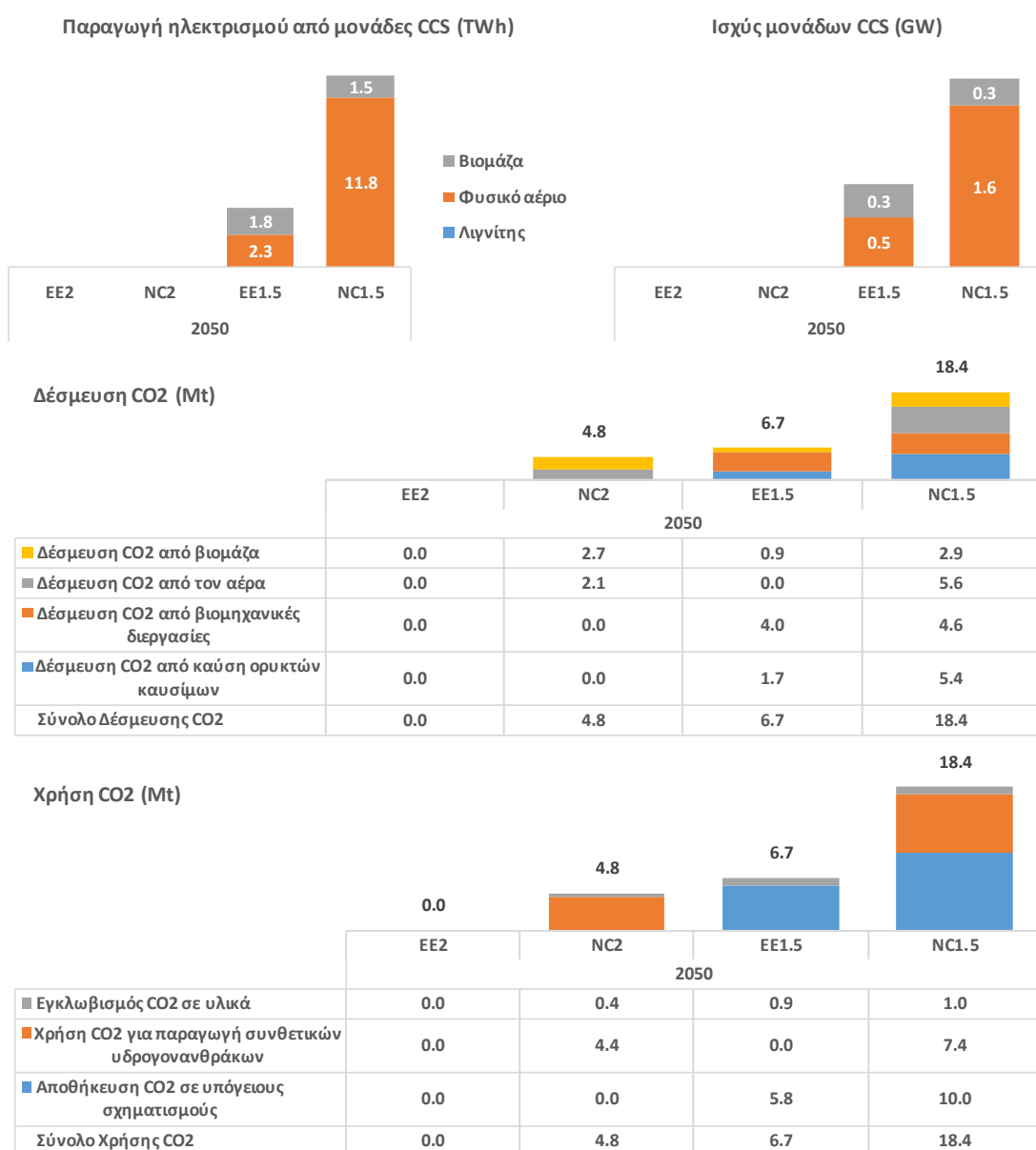


Στα σενάρια NC1.5 και NC2, η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ, που απαιτείται είναι μία με δύο φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το σενάριο ΕΣΕΚ-2050, κυρίως λόγω της αυξημένης ζήτησης ηλεκτρισμού για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων. Η σημαντική αύξηση της μεταβλητής παραγωγής από ΑΠΕ, κυρίως Φ/Β και αιολικών, δημιουργεί και μια εξίσου μεγάλη αύξηση των αναγκών εξισορρόπησης του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής. Παραδοσιακά, το ηλεκτρικό σύστημα χρησιμοποιεί για λόγους εξισορρόπησης συμβατικές μονάδες με γρήγορους ρυθμούς ανόδου και καθόδου του φορτίου καθώς και τις μεγάλες Υ/Η μονάδες για την εξάλειψη των ημερήσιων αιχμών. Για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε τόσο μεγάλη κλίμακα είναι απαραίτητη η ανάπτυξη και αξιοποίηση επιπρόσθετων πόρων, οι οποίοι προσφέρουν ευελιξία στο εθνικό ηλεκτρικό σύστημα, όπως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και η ενίσχυση και αξιοποίηση των διασυνδεδεμένων. Γίνεται έτσι αναγκαία η χρήση μέσων αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία θα συνεισφέρουν στην κάλυψη της απαιτούμενης ευελιξίας, αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργεια από ΑΠΕ σε ώρες μεγάλης παραγωγής (ώρες φόρτισης) και προσφέροντας την αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα (ώρες αποφόρτισης).

σε στιγμές χαμηλής διαθεσιμότητας των ΑΠΕ, όπως είναι οι νυχτερινές ώρες και ώρες\μέρες μικρής με μειωμένη διαθεσιμότητα ανέμου. Σε όλα τα σενάρια γίνεται αξιοποίηση των σταθμών αντλησιοταμίευσης, οι οποίοι παρέχουν ημερήσιο έως και εβδομαδιαίο κύκλο, αλλά και μπαταριών με ημερήσιο κύκλο αποθήκευσης. Για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ είναι αναγκαία και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης με μεγαλύτερο κύκλο (εποχιακό), προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας των ΑΠΕ. Τέτοια συστήματα αποτελούν τα συστήματα χημικής αποθήκευσης, τα οποία αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας από ΑΠΕ με τη μορφή υδρογόνου. Το αποθηκευμένο υδρογόνο χρησιμοποιείται από τους σταθμούς παραγωγής σε στιγμές έλλειψης ΑΠΕ.

Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει περιληπτικά τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και σε βιομηχανικές διεργασίες, τη δέσμευση από τον αέρα και βιομάζα και τη χρήση και αποθήκευσή του υπογείως και σε υλικά.

Σχήμα 26: Δέσμευση, αποθήκευση και χρήση διοξειδίου άνθρακα



4.3.8 Ο τομέας του αερίου

Ο ρόλος των αερίων καυσίμων ενισχύεται μακροχρόνια σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Ήδη στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ και στο διάστημα μέχρι το 2030, ο ρόλος του φυσικού αερίου ως καύσιμο-γέφυρα επιβεβαιώνεται, λόγω των μειωμένων εκπομπών που ενισχύει την ανταγωνιστικότητα του έναντι στερεών καυσίμων στο πλαίσιο του ETS αλλά κυρίως λόγω της ευελιξίας και εξισορρόπησης της διακύμανσης των ΑΠΕ που παρέχει στο ηλεκτρικό σύστημα. Όμως, μακροχρόνια η διατήρηση του φυσικού αερίου δεν συνάδει με την κλιματική ουδετερότητα εκτός εάν εφαρμοσθεί σε μεγάλη κλίμακα δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα. Δεδομένου ότι οι διαθέσιμοι χώροι αποθήκευσης είναι περιορισμένοι, είναι αναγκαίο να αλλάξει σταδιακά ή σύνθεση του αερίου προς την κατεύθυνση της κλιματικής ουδετερότητας. Τα κλιματικά ουδέτερα αέρια είναι βιοαέριο, υδρογόνο και συνθετικό μεθάνιο. Τα δύο τελευταία όμως παράγονται με ηλεκτρική ενέργεια με σχετικά μικρούς βαθμούς απόδοσης και κατά συνέπεια επιφέρουν μεγάλη μεγέθυνση του ηλεκτρικού τομέα. Έτσι για την εξισορρόπηση της διακύμανσης των ΑΠΕ είναι απαραίτητα η μεγάλη ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης και ο περιορισμός των συνθετικών καυσίμων και υδρογόνου στην παροχή στρεφόμενης εφεδρείας από θερμικές μονάδες και στη εποχιακή αποθήκευση.

Το φυσικό αέριο είναι επίσης μεγάλης σημασίας για τις τελικές καταναλώσεις ενέργειας λόγω μειωμένης ρύπανσης, κόστους, ευκολίας και ειδικών εφαρμογών ιδίως στη βιομηχανία. Για τους λόγους αυτούς είναι δύσκολη η πλήρης υποκατάστασή του από ηλεκτρική ενέργεια αλλά και μη επιθυμητή σε μεγάλη κλίμακα ώστε να διατηρηθούν σε κάποιο βαθμό η υποδομή και τα οφέλη (κόστος και ευκολία) για τους καταναλωτές. Για να γίνει όμως το σύστημα διανομής αερίου κλιματικά ουδέτερο, η σύνθεση του αερίου μείγματος διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την παρούσα κατάσταση, όπου το αέριο που ρέει στο σύστημα μεταφοράς και διανομής της χώρας μας είναι κατά αποκλειστικότητα φυσικό αέριο εισαγόμενο είτε μέσω αγωγών διασυνδέσεων είτε μέσω φορτίων LNG. Στον μακροχρόνιο ορίζοντα, τα αέρια καύσιμα παρουσιάζουν αλλαγές όσων αφορά α) την σύνθεσή τους, και β) την διανομή τους.

Το φυσικό αέριο δεν θα είναι στο μέλλον το κύριο συστατικό του συστήματος διανομής και της αγοράς αερίων καυσίμων. Τα δίκτυα αερίου προοδευτικά θα ενσωματώσουν προσμίξεις άλλων αερίων με μικρότερο (ή και μηδενικό) ανθρακικό αποτύπωμα όπως είναι το βιομεθάνιο, το υδρογόνο και το συνθετικό μεθάνιο (e-gas, synthetic methane). Η μείξη αυτών των αερίων στους αγωγούς αερίου έχει ως αποτέλεσμα το συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα του αερίου μείγματος να μειώνεται, όσο το ποσοστό αυτών των κλιματικά ουδέτερων καυσίμων αυξάνεται. Θεωρητικά, είναι δυνατή η ολική (100%) αντικατάσταση του φυσικού αερίου που ρέει σήμερα στο δίκτυο από ένα μείγμα αερίων με μηδενικό κλιματικό αντίκτυπο. Συνοπτικά, τα άνωθεν αναφερόμενα καύσιμα περιγράφονται παρακάτω:

Το **βιομεθάνιο** είναι ενεργειακό προϊόν εφάμιλλων ιδιοτήτων με το φυσικό αέριο, καθώς αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από μόρια μεθανίου. Η προέλευση του όμως είναι όχι από ορυκτά καύσιμα (όπως στην περίπτωση του φυσικού αερίου), αλλά είτε από πρωτογενή βιομάζα (ξυλεία, αγροτικά προϊόντα και παραπροϊόντα κλπ.) είτε από επεξεργασία απορριμμάτων ή λυμάτων (σε στερεή ή υγρή κατάσταση). Οι κύριες τεχνολογίες παραγωγής του είναι η αεριοποίηση στερεής βιομάζας (biomass gasification) καθώς και η παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης (anaerobic digestion) χρησιμοποιώντας σαν πρώτη ύλη απορρίμματα και η μετέπειτα αναβάθμιση του βιοαερίου, το οποίο περιέχει μεθάνιο (CH₄) σε χαμηλή σχετικά περιεκτικότητα κατά όγκο (~60%) με το υπόλοιπο να είναι CO₂, σε βιομεθάνιο. Όπως αναφέρεται και παρακάτω, αυτό το βιογενές CO₂, μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για την παραγωγή συνθετικών υδρογονανθράκων με μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα.

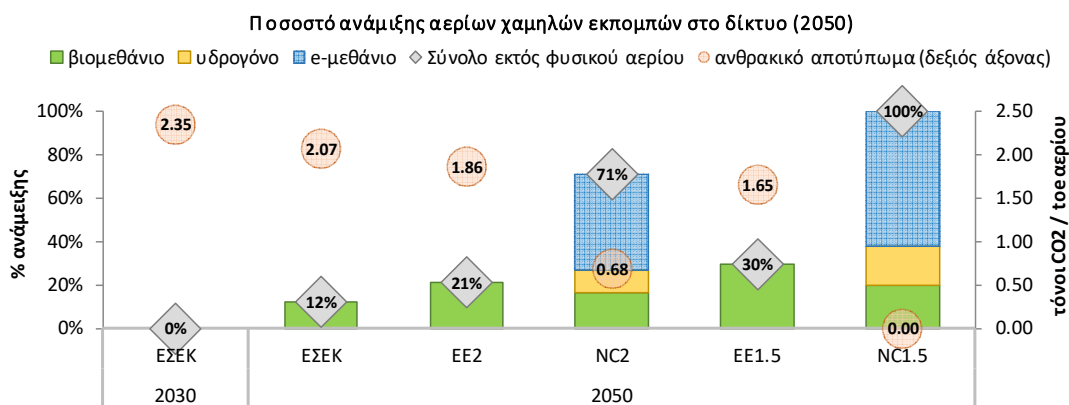
Το **υδρογόνο** είναι ενεργειακό προϊόν, το οποίο μπορεί να αναμειχθεί στα υπάρχοντα δίκτυα φυσικού αερίου ως ένα ποσοστό (της τάξεως του 10%-20% κατ' όγκο με τις αναφορές για τα ακριβή όρια να ποικίλουν), όμως κάθε περαιτέρω αύξηση του ποσοστού ανάμειξής του στο δίκτυο σημαίνει ανάγκη για αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου καθώς και αντικατάστασης των συσκευών των καταναλωτών. Υδρογόνο παράγεται μέσω αναμόρφωσης φυσικού αερίου (Steam Methane Reforming –

SMR) σε πολλές βιομηχανικές μονάδες, κυρίως στον τομέα της χημείας καθώς και στα διυλιστήρια. Η παραγωγή όμως υδρογόνου μέσω SMR (γκρι υδρογόνο) συνεπάγεται εκπομπές CO₂, άρα έχει σημαντικό ανθρακικό αποτύπωμα. Αν συνδυαστεί με τεχνολογίες σύλληψης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) το ανθρακικό αποτύπωμα μειώνεται σημαντικά (blue hydrogen) – όμως η δυνατότητα αυτή δεν υπάρχει λόγω περιορισμού στην αποθήκευση CO₂. Άρα κύρια κατεύθυνση είναι η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης (με νερό σαν πρώτη ύλη και καύσιμο ηλεκτρισμό), η οποία οδηγεί σε μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα στην περίπτωση που ο ηλεκτρισμός έχει προέλθει από πηγές μηδενικών εκπομπών όπως οι ΑΠΕ (green hydrogen), πυρηνικοί σταθμοί ή συμβατικοί σταθμοί με τεχνολογίες CCS. Μια άλλη τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου είναι η πυρόλυση μεθανίου, η οποία έχει ως προϊόν υδρογόνο και άνθρακα σε στερεή μορφή, που θεωρείται ότι μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί – όμως η τεχνολογία αυτή δεν έχει ακόμα αποδειχθεί σε βιομηχανικό επίπεδο.

Το **συνθετικό μεθάνιο** είναι καύσιμο το οποίο έχει μοριακές ιδιότητες ίδιες με το ορυκτό μεθάνιο, που αποτελεί το βασικό συστατικό του φυσικού αερίου, αλλά έχει προέλθει από ανθρωπογενείς ελεγχόμενες χημικές διεργασίες, εν αντιθέσει με το φυσικό σχηματισμό φυσικού αερίου από τον εγκλωβισμό βιομάζας σε υπόγειες κοιλότητες για εκατομμύρια χρόνια. Η συνολική παραγωγή της σύνθεσης αποτελείται από ενδιάμεσα στάδια, τα οποία μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με την ακριβή τεχνολογία, σε κάθε όμως περίπτωση, η σύνθεση απαιτεί την ύπαρξη κάποια μορφής άνθρακα (μοριακό C ή CO ή και CO₂) και υδρογόνου σαν αντιδρώντα. Υπό ορισμένες προϋποθέσεις, το συνθετικό μεθάνιο μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα. Αυτές είναι:

- Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται ως είσοδος της διεργασίας να έχει μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα.
- Η πηγή άνθρακα να είναι τέτοια που κατά την καύση του μεθανίου να θεωρείται ότι έχει καθαρό μηδενικό κλιματικό αποτύπωμα (net zero climate footprint). Τέτοιες πηγές είναι η δέσμευση CO₂ από την ατμόσφαιρα (Direct Air Capture – DAC) ή ο άνθρακας από βιογενείς πηγές όπως η βιομάζα, ή το CO₂ που προκύπτει ως παραπροϊόν της αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο.
- Όλες οι ιδιοκαταναλώσεις των διεργασιών να είναι κλιματικά ουδέτερα καύσιμα.

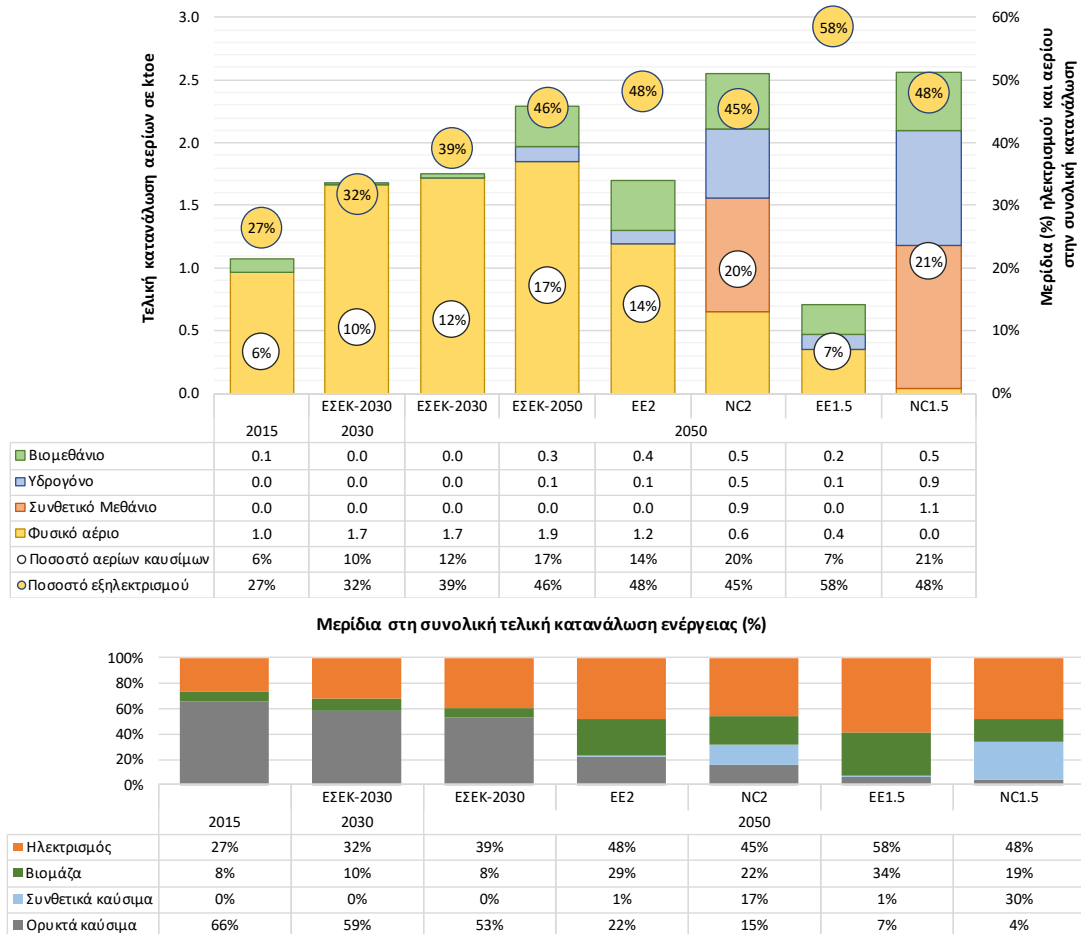
Σχήμα 27: Μείγμα αερίων στο δίκτυο διανομής και ανθρακικό αποτύπωμα



Πέρα από την σύνθεση του μείγματος φυσικού αερίου, και η τροφοδοσία των καταναλωτών με φυσικό αέριο αναμένεται να μετασχηματιστεί. Η ωρίμανση τεχνολογιών υγροποίησης και επαναεριοποίησης φυσικού αερίου (καθώς και υδρογόνου σε μικρότερο βαθμό), θα επιτρέπουν δυνατότητα διανομής και χρήσης αερίων καυσίμων σε περιοχές που δεν καλύπτονται από το κεντρικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι σταθμοί τροφοδοσίας επαγγελματικών οχημάτων που μπορούν να λειτουργούν με τροφοδοσία μέσω φορτίων υγροποιημένων αερίων καυσίμων, η τροφοδοσία της ναυτιλίας, ή η τροφοδοσία δυ-

σπρόσιτων περιοχών στις οποίες η επέκταση του δικτύου θεωρείται οικονομικά ασύμφορη. Η επέκταση του διασυνδεδεμένου συστήματος, αλλά και η τροφοδότηση μεμονωμένων σημείων μέσω υδροποιημένου αερίου μπορεί δυνητικά να αποτελέσει ένα ελκυστικό επιχειρηματικό αντικείμενο. Επίσης, η αποκεντρωμένη ιδιοπαραγωγή υδρογόνου ή βιομεθανίου μπορεί να αποτελεί συμφέρουσα επιλογή για βιομηχανικά συγκροτήματα ή σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς να προϋποθέτει τη σύνδεση στις κεντρικές υποδομές μεταφοράς και διανομής αερίου.

Σχήμα 28: Διανομή αερίων καυσίμων, χρήση συνθετικών καυσίμων και βιομάζας στην τελική κατανάλωση

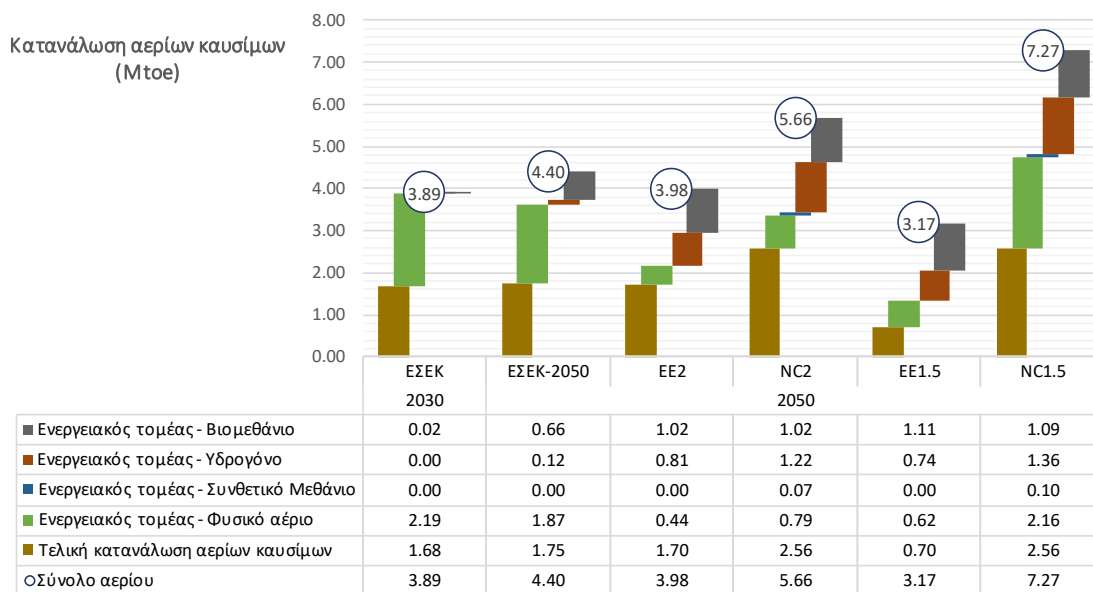


Όλα τα σενάρια μακροχρόνιας στρατηγικής υποθέτουν ένα μείγμα αερίων που ρέει στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου με χαμηλότερο ανθρακικό αποτύπωμα από ότι σήμερα. Ειδικότερα, στο σενάριο NC1.5 βαθμού, το ποσοστό ανάμειξης αερίων με μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα στο δίκτυο αγγίζει το 100%, καθιστώντας το αέριο που ρέει στο κεντρικό σύστημα μεταφοράς και διανομής αερίου κλιματικά ουδέτερο. Από υπόθεση, δεν αναπτύσσονται σε μεγάλη κλίμακα αλυσίδες παραγωγής συνθετικών καυσίμων (υδρογόνου ή μεθανίων) στα σενάρια ΕΕ, επομένως δεν υπάρχουν προσμίξεις αυτών των καυσίμων στο διανεμόμενο αέριο, και η μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος σε αυτές τις περιπτώσεις οφείλεται εξ ολοκλήρου στην συμμετοχή του βιομεθανίου. Στα σενάρια NC, η πρόσμιξη ποσοστού υδρογόνου σε ποσοστά ανώτερα του 10-20% κατ' όγκο θα παρούσα την αναγκαιότητα αλλαγής στον εξοπλισμό των καταναλωτών και αντικατάστασης μεγάλου μέρους του υπάρχοντος δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου. Επίσης, οι προσθήκες μεγάλων ποσοστών βιομεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου, αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης προσφοράς, καθώς

τα αποθέματα βιομάζας είναι περιορισμένα (στην Ελλάδα, αλλά και πανευρωπαϊκά) και επίσης αντιμετωπίζουν ανταγωνισμό από τομείς στους οποίους οι λύσεις απανθρακοποίησης είναι περιορισμένες (χερσαίες εμπορικές μεταφορές, ναυτιλία, εναέριες μεταφορές). Επομένως, για την περαιτέρω μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του μείγματος, απαιτείται η παραγωγή και η πρόσμιξη συνθετικού μεθανίου η οποία φτάνει το 44% και 63% στα σενάρια 2NC και 1.5NC αντίστοιχα.

Υφίσταται δυνατότητα ανάπτυξης των μονάδων παραγωγής και διανομής υδρογόνου και βιομεθανίου αποκεντρωμένα ανάλογα με τη γεωγραφική κατανομή των πόρων. Κατά συνέπεια, η μείξη των αερίων θα γίνεται σε διάφορες θέσεις του δικτύου και όχι στην υψηλή πίεση, όπως εγχέεται σήμερα το φυσικό αέριο. Η νέα τοπολογία είναι αντικείμενο νέας μελέτης, γιατί θα έχει επιπτώσεις σε τεχνικά ζητήματα, στη διαχείριση των υποδομών, στην αξιοπιστία και στον προγραμματισμό ενεργειών για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης παροχής και αποθήκευσης αερίου. Σε όλες τις περιπτώσεις η πρόσμιξη νέων αερίων στο δίκτυο μεταφοράς ή/και διανομής φυσικού αερίου κάνει αναγκαία την ανάδειξη μιας νέας τοπολογίας δικτύου, καθώς και ένα νέο σύστημα οργάνωσης της αγοράς αερίου. Η αναγκαιότητα αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι το συμβατικό μοντέλο εισαγωγής αερίου με λιγοστά σημεία εισαγωγής (διασυνδέσεις μέσω αγωγών, λιγостоί σταθμοί επαναεριοποίησης LNG) αντικαθίσταται από ένα σύστημα στο οποίο υπάρχει έγχυση εγχώρια και διανεμημένα παραγόμενων ποσοτήτων αερίων στο σύστημα μεταφοράς ή και διανομής. Οι κανονισμοί έγχυσης, ασφαλείας, υποχρέωσης εξισορρόπησης κλπ. πρέπει να αναθεωρηθούν πλήρως για να λειτουργήσει ένα τέτοιο μοντέλο χρήσης αερίων με μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα.

Σχήμα 29: Διάρθρωση της κατανάλωσης αερίου κατά τομέα



Χάρη στο μικρό ή μηδενικό κλιματικό αποτύπωμα του αερίου, που θα ρέει στους αγωγούς διανομής, τα αέρια καύσιμα επιτυγχάνουν να αυξήσουν την συμμετοχή τους ως ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε σχεδόν όλα τα σενάρια για το έτος 2050 σε σχέση με το έτος 2030 στο πλαίσιο των βασικών πολιτικών με αδιαμφισβήτητο όφελος. Μικρή μείωση της συνολικής κατανάλωσης αερίου παρατηρείται στο σενάριο EE1.5 λόγω της έμφασης που δίνει το σενάριο αυτό στην αύξηση του ποσοστού εξηλεκτρισμού, αφού εξ' υποθέσεως δεν αναπτύσσονται τεχνολογίες παραγωγής συνθετικών καυσίμων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τοπικά συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής και διανομής υδρογόνου οδηγούν σε μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής τους στην τελική κατανάλωση αερίων καυσίμων, σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά πρόσμιξης τους στο δίκτυο αερίου.

Πέρα από την τελική κατανάλωση, σημαντικές ποσότητες αερίων καυσίμων χρησιμοποιούνται και στον ενεργειακό τομέα προσφοράς (συμπεριλαμβανομένης και της ηλεκτροπαραγωγής).

Η ηλεκτροπαραγωγή είναι ο μόνος τομέας που εξακολουθεί να χρησιμοποιεί σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου, κυρίως όμως σε σταθμούς που είναι εξοπλισμένοι με τεχνολογίες CCS, ελαχιστοποιώντας κατά αυτόν τον τρόπο το ανθρακικό αποτύπωμα των σταθμών τους.

Ακολουθεί το βιοαέριο το οποίο προσφέρει μια φθηνή σχετικά λύση χαμηλών εκπομπών στην ηλεκτροπαραγωγή, καθώς και μια ευκαιρία για τον σχηματισμό αρνητικών (κατά σύμβαση) εκπομπών σε περίπτωση που χρησιμοποιείται από σταθμούς CCS. Το υδρογόνο και το συνθετικό μεθάνιο χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό, η παρουσία τους όμως είναι πολύτιμη, καθώς αποτελούν έναν βασικό μηχανισμό χημικής αποθήκευσης ενέργειας. Τα συνθετικά αυτά καύσιμα παράγονται σε περιόδους όπου παρατηρείται πλεόνασμα ΑΠΕ και καταναλώνονται από σταθμούς παραγωγής σε περιόδους ελλείμματος παραγωγής από ΑΠΕ σε σχέση με το ηλεκτρικό φορτίο του συστήματος.

4.3.9 Η βιομάζα

Ο ρόλος της βιομάζας είναι πολύ σημαντικός σε μία οικονομία χαμηλών ή ακόμα και μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η βιομάζα μπορεί μέσω καύσης να χρησιμοποιηθεί απευθείας για τη θέρμανση κτιρίων, για την παραγωγή θερμότητας σε βιομηχανικές διεργασίες και για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Επιπλέον, η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοκαύσιμα, βιορευστά, βιοαέριο ή αέριο σύνθεσης, μέσω άλλων θερμοχημικών και βιοχημικών διεργασιών. Το βιομεθάνιο, ως προϊόν αναβάθμισης του βιοαερίου, μπορεί να υποκαταστήσει φυσικό αέριο εγγεόμενο στο υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου. Το CO₂ που εκπέμπεται κατά τη χρήση της βιομάζας είναι δυνατόν να δεσμευτεί και αποθηκευτεί ή και να χρησιμοποιηθεί για τον εγκλωβισμό του σε υλικά (π.χ. πετροχημεία) συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο σε αρνητικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

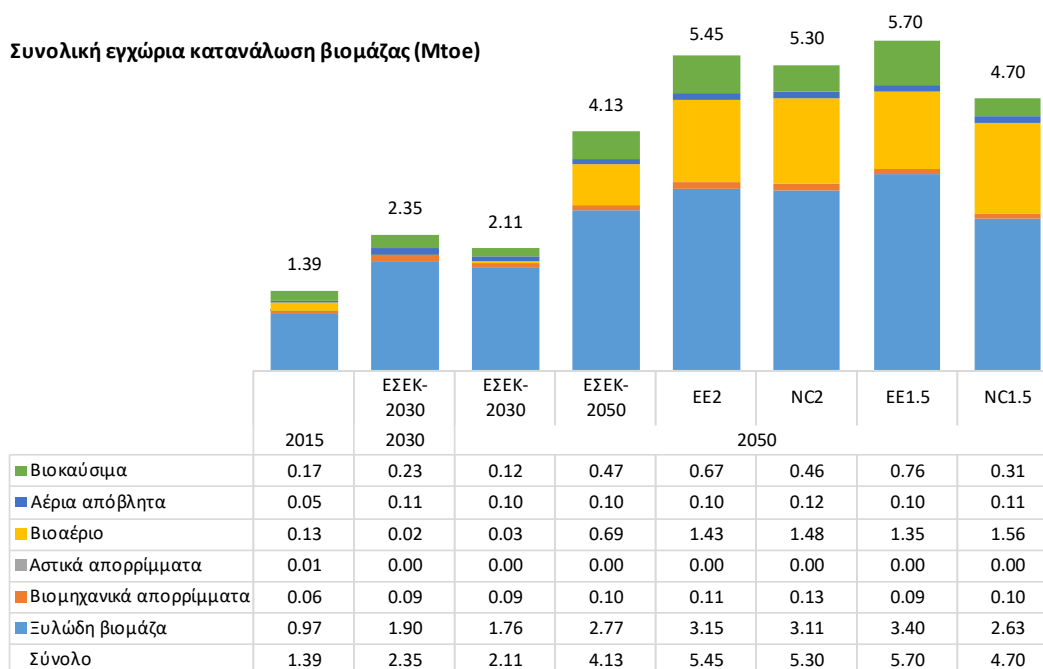
Σε μία οικονομία μηδενικών εκπομπών θα απαιτηθούν αυξημένες ποσότητες βιομάζας συγκριτικά με τη σημερινή κατανάλωση. Στην Ελλάδα υπάρχουν δυνητικά διαθέσιμοι πόροι βιομάζας αλλά και δυνατότητες σημαντικής επέκτασης με την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών. Η λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα προσφέρεται για την παραγωγή βιοκαυσίμων νέας γενιάς με ελάχιστο δυνατό ανθρακικό αποτύπωμα που θα υποκαθιστούν ορυκτά καύσιμα στις μεταφορές, χωρίς επιπτώσεις στην αγορά τροφίμων και ζωοτροφών.

Οι τεχνολογίες μετατροπής μπορεί να είναι είτε θερμοχημικές (πχ. αεριοποίηση/Fischer-Tropsch, καταλυτική πυρόλυση, κα), είτε βιοχημικές (πχ. ζυμώσεις). Οι τεχνολογίες αυτές αναπτυγμένες σε βιομηχανική κλίμακα και με κατάλληλη οργάνωση οικονομιών κλίμακας της παραγωγής και εφοδιαστικής αλυσίδας των ενεργειακών καλλιεργειών, θα είναι σε θέση να παράγουν βιοκαύσιμα νέας γενιάς σε ανταγωνιστικές τιμές στο μέλλον. Αντίστοιχα, η παραγωγή βιοαερίου έχει σημαντικό δυναμικό ανάπτυξης στην Ελλάδα και λαμβάνεται υπόψη στο πλαίσιο της ΜΣ50.

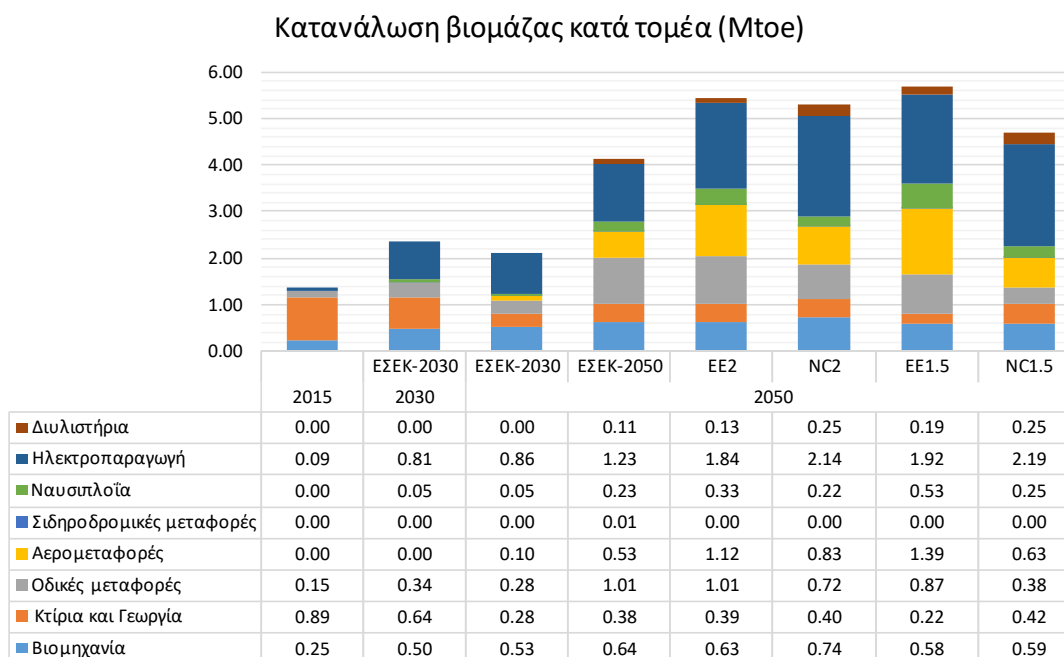
Σε αυτή την προοπτική βασίζεται η παρούσα ανάλυση των σεναρίων της ΜΣ50, η οποία προβλέπει μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης βιομάζας, βιοκαυσίμων και βιοαερίου σε όλους τους τομείς του ενεργειακού συστήματος.

Το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής ακαθάριστης εγχώριας ζήτησης βιομάζας καταλαμβάνει η ξυλώδης βιομάζα (ξυλεία ή pellets). Εξίσου σημαντική αύξηση παρατηρείται στην κατανάλωση βιοαερίου μακροχρόνια σε όλα τα σενάρια. Το βιοαέριο διοχετεύεται στο δίκτυο φυσικού αερίου και καταναλώνεται σε όλους τους τομείς του ενεργειακού συστήματος. Η κατανάλωση αερίων αποβλήτων διατηρείται σταθερή λόγω περιορισμένης δυναμικότητας. Η κατανάλωση βιομηχανικών απορριμμάτων είναι αλληλένδετη με τη βιομηχανική δραστηριότητα που στα σενάρια ενεργειακής αποδοτικότητας είναι περιορισμένη εξαιτίας των μετασχηματισμών προς την κατεύθυνση της κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία.

Σχήμα 30: Η ανάπτυξη της βιομάζας



Σχήμα 31: Διάρθρωση της κατανάλωσης βιομάζας



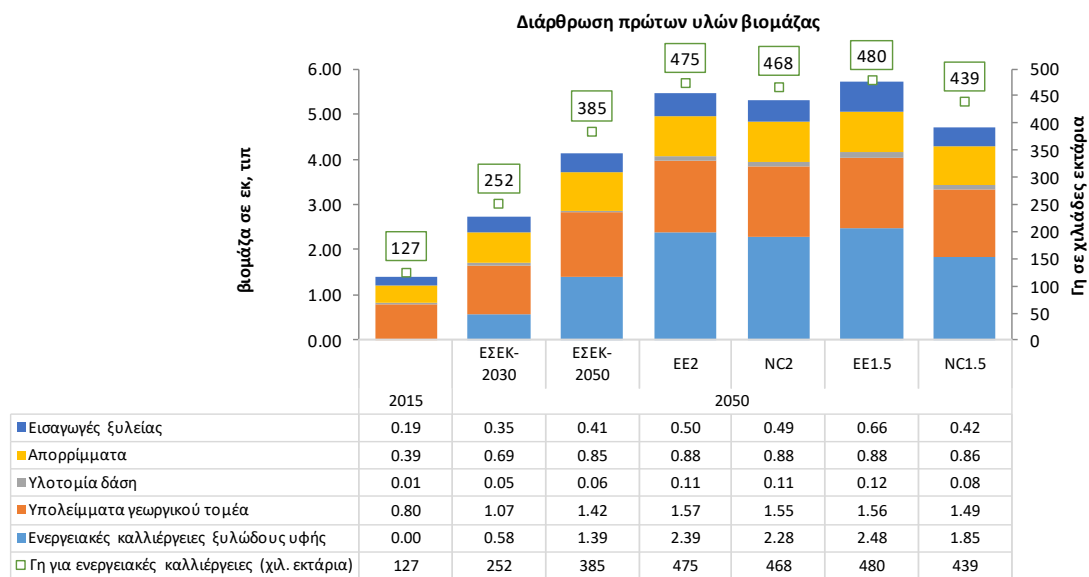
Γενικότερα η κατανάλωση βιομάζας είναι υψηλότερη στα σενάρια ενεργειακής αποδοτικότητας διότι μπορεί να καταναλωθεί σε τομείς που ο εξηλεκτρισμός είναι δύσκολος όπως για παράδειγμα στις μεταφορές μέσω προηγμένων βιοκαυσίμων. Επιπλέον, καταναλώνεται βιομάζα και βιοαέριο στα σενάρια 1.5°C για δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα και αποθήκευση σε υπόγειους σχηματισμούς προ-

κειμένου να παραχθούν αρνητικές εκπομπές. Στα σενάρια εξηλεκτρισμού και ενεργειακής αποδοτικότητας ΕΕ2 και ΕΕ1.5 η κατανάλωση βιοκαυσίμων είναι μεγαλύτερης έντασης για την υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων σε τομείς όπου δεν είναι εφικτός ο πλήρης εξηλεκτρισμός.

Η ανάπτυξη παραγωγής βιοκαυσίμων τόσο συμβατικών όσο και προηγμένων έχει μεγάλες δυνατότητες στην Ελληνική οικονομία και μπορεί να ανταγωνισθεί επιτυχώς τις εισαγωγές βιοκαυσίμων. Όσον αφορά στην εγχώρια παραγωγή βιοκαυσίμων, θα πρέπει να αναπτυχθεί πολιτική υποστήριξης της παραγωγής πρώτων υλών βιομάζας και ενεργειακών καλλιεργειών σε βιομηχανική κλίμακα. Τα συμβατικά βιοκαύσιμα (βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς) προέρχονται από βιομάζα η οποία χρησιμεύει και ως τροφή. Τα προηγμένα βιοκαύσιμα (βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς) αφορούν βιοκαύσιμα που παράγονται με προηγμένο τρόπο από λιγνοκυτταρικές πρώτες ύλες, ή υπολείμματα διεργασιών. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αναμένεται να επιτύχουν συνθήκες βιομηχανικής ωρίμανσης μετά το 2030 και ήδη από το 2030 προβλέπεται να υποκαταστήσουν την παραγωγή βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς.

Η ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών βασίζεται σε ελαιοκράμβη, ηλιάνθο, γλυκό σόργο, ζαχαρότευτλα, κτλ. για την παραγωγή βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς, και σε λιγνοκυταρινούχο βιομάζα όπως μίσχανθος, ιτιά, λεύκη κ.α. για την παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων, καλλιέργειες που θα μπορούσαν να διαφοροποιήσουν και να αυξήσουν κατά πολύ τη σημερινή γεωργική δραστηριότητα της Ελλάδας. Προκειμένου να επιτευχθεί η ανάπτυξη αυτών των καλλιεργειών, θα πρέπει να υπάρξει δυνατότητα για την επαναφορά εγκαταλελειμμένης γης στην καλλιέργεια μεγάλης κλίμακας. Ο ρόλος των εγγειοβελτιωτικών έργων είναι σημαντικός λόγω των μεγάλων αναγκών των ενεργειακών καλλιεργειών σε άρδευση. Με την ανάπτυξη των νέων ενεργειακών καλλιεργειών θα βελτιωθεί η παραγωγικότητα και το εισόδημα των γεωργικών δραστηριοτήτων και θα αυξηθεί η αξία της γης.

Σχήμα 32: Ανάπτυξη των πρώτων υλών βιομάζας και χρήσης γης



Το κύριο εμπόδιο της αύξησης χρήσης βιομάζας, είτε απευθείας χρήσης, είτε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων, είναι η αδιάλειπτη και ασφαλής τροφοδοσία κυρίως στους τομείς της βιομηχανίας και στην ηλεκτροπαραγωγή, αλλά κυρίως στη νέα βιομηχανία παραγωγής προηγμένων βιοκαυσίμων.

Η ύπαρξη ισχυρού ανταγωνισμού της απευθείας χρήσης βιομάζας σε διάφορους τομείς με τη χρήση βιομάζας ως πρώτη ύλη στην παραγωγή προηγμένης γενιάς βιοκαυσίμων είναι μεγάλη. Τα βιοκαύσιμα παρέχουν δυνατότητα ανάκτησης μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας συγκριτικά με την βιομάζα

σε συμβατικές χρήσεις καύσης. Κανονιστικές ρυθμίσεις σχετικά με την υποχρεωτική ανάμειξη βιομεθανίου σε κάποιο ποσοστό στο δίκτυο διανομής αερίου είναι σε θέση να διασφαλίσουν θετική προοπτική για την ανάπτυξη της βιομηχανίας παραγωγής βιοαερίου και αναβάθμισής του σε βιομεθάνιο με ταυτόχρονη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα προς άλλες χρήσεις. Η νέα αυτή βιομηχανία βιοαερίου αναμένεται να έχει σημαντική δραστηριότητα στο πλαίσιο του μακροχρόνιου σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα.

Η σημασία της ανάπτυξης νέων ενεργειακών λιγνοκυτταρινούχων καλλιεργειών καταδεικνύεται στο προηγούμενο σχήμα, το οποίο προβάλλει στο μέλλον την ανάπτυξη των πρώτων υλών βιομάζας ανάλογα με το σενάριο και τη δυναμικότητα περαιτέρω ανάπτυξής τους στην Ελλάδα.

Το δυναμικό πρώτης ύλης από την υλοτομία δασών, καθώς και των γεωργικών και κτηνοτροφικών υπολειμμάτων και το βιοαποικοδομήσιμο τμήμα των αστικών απορριμμάτων είναι σημαντικό. Κατά συνέπεια, η κάλυψη των αυξημένων μελλοντικών αναγκών θα προέλθει τόσο από τα υπολείμματα του γεωργικού τομέα όσο και τις νέες ενεργειακές καλλιέργειες, το προϊόν των οποίων θα μετατρέπεται σε προηγμένα βιοκαύσιμα. Το σχήμα 32, δείχνει και προβολή της έκτασης της γης για την παραγωγή από τη γεωργία των πρώτων υλών βιομάζας.

4.4 Κόστος, τιμές και επενδυτικές δαπάνες

Το ενεργειακό σύστημα αποτελείται από τους τομείς της τελικής ζήτησης και τους τομείς παραγωγής και διάθεσης ενέργειας. Σημασία για την οικονομική ανάπτυξη, την ανταγωνιστικότητα και την ευημερία έχει τελικά το κόστος που επωμίζονται οι τελικοί καταναλωτές ενέργειας για την εξασφάλιση των ενεργειακών υπηρεσιών, δηλαδή των ωφέλιμων υπηρεσιών της ενέργειας. Κάθε τελικός καταναλωτής δαπανά για επενδύσεις σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, για την αγορά εξοπλισμών και οχημάτων και για την αγορά ενεργειακών προϊόντων. Το σύνολο αυτών των δαπανών αντιστοιχεί στο κόστος για τις ωφέλιμες ενεργειακές υπηρεσίες. Το σύνολο αυτού του κόστους για όλους τους τελικούς καταναλωτές, νοικοκυριά, υπηρεσίες, γεωργία, βιομηχανία και μεταφορές, αντιστοιχεί στο συνολικό ποσό που πρέπει να δαπανήσει το σύνολο της οικονομίας για τις ενεργειακές υπηρεσίες. Όσο μικρότερο είναι το ενεργειακό αυτό κόστος ως ποσοστό του ΑΕΠ, τόσο μεγαλύτερη είναι δυνητικά η προστιθέμενη αξία, λόγω της αύξησης της παραγωγικότητας της ενέργειας.

Αγοράζοντας ενεργειακά προϊόντα οι τελικοί καταναλωτές εξασφαλίζουν έσοδα στις επιχειρήσεις παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και διάθεσης ενέργειας, οι οποίες μέσω αυτών ανακτούν τα πάγια κόστη κεφαλαίου, με εύλογο κέρδος, τα πάγια κόστη συντήρησης και τα μεταβλητά κόστη λειτουργίας. Οι προβολές στο μέλλον υποθέτουν ότι οι επιχειρήσεις αυτές αναπτύσσουν το χαρτοφυλάκιό τους με βέλτιστο τρόπο, δρουν σε συνθήκες υγιούς ανταγωνισμού και ανακτούν το σύνολο του κόστους, χωρίς ανάκτηση κόστους ανενεργών επενδύσεων και χωρίς κάθε μορφής υπερκέρδους. Επομένως, η προβολή στο μέλλον των τιμών των ενεργειακών προϊόντων αντιστοιχεί σε βέλτιστη τιμολόγησή τους από τη σκοπιά των τελικών καταναλωτών. Για την ανάκτηση του κόστους κεφαλαίου και το κέρδος των επιχειρήσεων του ενεργειακού τομέα, η προβολή στο μέλλον υποθέτει μεσοσταθμικό κόστος κεφαλαίου 8-8.5% για την παραγωγή ενέργειας και 7.5% για τα δίκτυα και υποδομές. Τα επίτοκια αυτά χρησιμοποιούνται για την αναγωγή των επενδυτικών δαπανών των επιχειρήσεων σε ετήσιο ισοδύναμο κόστος κεφαλαίου και στη συνέχεια για τον υπολογισμό των τιμών των ενεργειακών προϊόντων. Στις τιμές καταναλωτή εφαρμόζονται και ειδικοί φόροι κατανάλωσης καθώς και συντελεστής ΦΠΑ, οι οποίοι διατηρούνται στην προβολή ίσοι με τα σημερινά επίπεδα (σε πραγματικές τιμές). Δεν έχουν συμπεριληφθεί περιπτώσεις επιβολής ειδικού φόρου κατανάλωσης σε προϊόντα για τα οποία ο φόρος αυτός είναι μηδενικός ή πολύ μικρός.

Οι ενεργειακές δαπάνες των τελικών καταναλωτών διακρίνονται σε δαπάνες επενδυτικού χαρακτήρα σε διαρκή αγαθά, περιλαμβανομένων των εξοπλισμών και οχημάτων καθώς και των δαπανών επένδυσης για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κτιρίων και βιομηχανιών, σε πάγιες ετήσιες δαπάνες συντήρησης του εξοπλισμού και σε δαπάνες μεταβλητού χαρακτήρα (ανάλογες με την κα-

τανάλωση ενεργειακών προϊόντων), οι οποίες περιλαμβάνουν δαπάνες αγοράς ενεργειακών προϊόντων και μεταβλητές δαπάνες λειτουργίας εξοπλισμών εκτός κόστους καυσίμων. Για την αναγωγή των επενδυτικών δαπανών των τελικών καταναλωτών σε ισοδύναμο ετήσιο κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται προεξοφλητικό επιτόκιο, εκ συμβάσεως, ίσο με 10%. Οι λοιπές δαπάνες, συντήρησης και λειτουργίας, είναι εκ φύσεως ετήσιες δαπάνες. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην αναλυτική προσομοίωση των συμπεριφορών επενδύσεων των τελικών καταναλωτών λαμβάνονται στο πλαίσιο του μοντέλου διαφορετικά μοναδιαία κόστη κεφαλαίου και προεξοφλητικά επιτόκια, ανάλογα με τον τομέα και την παρατηρηθείσα συμπεριφορά κατηγοριών καταναλωτών σε επενδυτικές αποφάσεις.

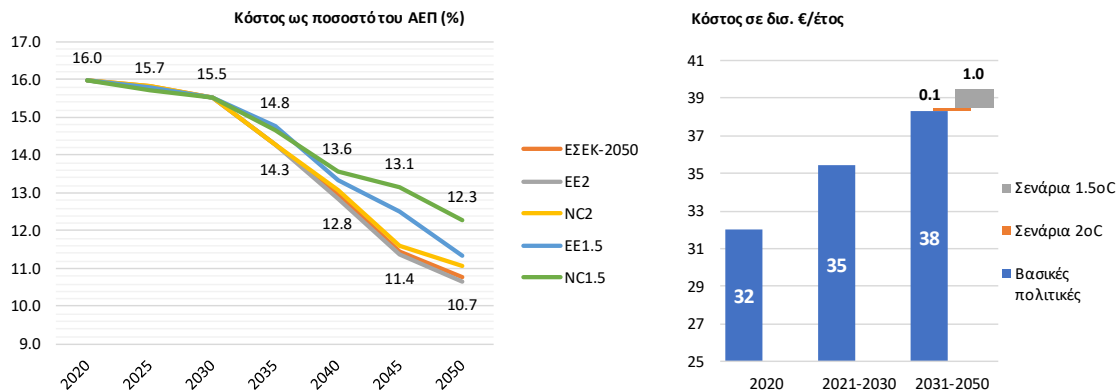
Το συνολικό ετήσιο κόστος του ενεργειακού συστήματος είναι, επομένως, το άθροισμα του ετήσιου κόστους απόκτησης ωφέλιμων ενεργειακών υπηρεσιών από κάθε τελικό καταναλωτή ενέργειας, το οποίο αποτελείται από πάγια ετήσια κόστη (CAPEX), για τις επενδύσεις και τη συντήρηση, και μεταβλητά κόστη (OPEX).

Η μετάβαση είναι μεγάλης εντάσεως κεφαλαίου σε όλους τους τομείς, δεδομένου ότι οι δαπάνες επένδυσης για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τόσο για εξοικονόμηση ενέργειας όσο και για αγορά αποδοτικών συσκευών και οχημάτων αυξάνουν, ενώ, ομοίως, οι δαπάνες επένδυσης σε ΑΠΕ, αποθηκευτικά μέσα και δίκτυα επίσης αυξάνουν. Ταυτόχρονα όμως μειώνονται οι δαπάνες καυσίμου και λειτουργίας τόσο στους τελικούς καταναλωτές, λόγω μικρότερης κατανάλωσης χάρη στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, όσο και στην ενεργειακή παραγωγή λόγω υποκατάστασης θερμικών μονάδων από ΑΠΕ. Η εξάρτηση του κόστους της μετάβασης από τα κόστη επενδύσεων αφορά κυρίως σε νέες τεχνολογίες αρκετές από τις οποίες είναι ήδη βιομηχανικά ώριμες ή κοντά στο να είναι πλήρως ώριμες, αλλά και σε τεχνολογίες οι οποίες έχουν στο μέλλον να διανύσουν μακρά πορεία μέχρι τη βιομηχανική ωρίμανση. Το κόστος επομένως για τις ενεργειακές υπηρεσίες των καταναλωτών κατά την πορεία της μετάβασης ενέχει αβεβαιότητα, η οποία εξαρτάται από τον βαθμό εμπορικής και βιομηχανικής ωρίμανσης των καινοτόμων τεχνολογιών. Έχει γίνει η υπόθεση ότι οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται σε μεγάλη κλίμακα, σε διαφορετικό βαθμό κατά σενάριο, ταυτόχρονα ωφελούνται εμπορικά από δυναμική μείωση του κόστους επένδυσης, η οποία συνδυάζεται με τον όγκο διείσδυσης στην αγορά, δηλαδή κατά σενάριο εμπεριέχεται μηχανισμός εκμάθησης των τεχνολογιών (learning by doing mechanism). Το δυναμικό εκμάθησης που δεν έχουν εκμεταλλευθεί οι τεχνολογίες μέχρι σήμερα αφορά κυρίως τις πιο καινοτόμες από αυτές, όπως οι τεχνολογίες αποθήκευσης, το υδρογόνο, τα συνθετικά καύσιμα, οι αντλίες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας και άλλες. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται στο πλαίσιο των βασικών πολιτικών είναι βιομηχανικά ώριμες και η επιπλέον εκμάθηση στο μέλλον είναι σχετικά περιορισμένη, δεν διαφέρει δε μεταξύ των σεναρίων.

Η κύρια τάση σχετικά με την εξέλιξη του κόστους των τεχνολογιών είναι η μείωση του κόστους επένδυσης των ΑΠΕ, καθώς και των τεχνολογιών για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, κυρίως αναφορικά με το κόστος αγοράς των αποδοτικών συσκευών και οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό, η στροφή προς τις ΑΠΕ και τις αποδοτικές τεχνολογίες σε όλους τους τομείς συνοδεύεται από μείωση του μοναδιαίου κόστους επένδυσης, η οποία συνδυαζόμενη με τη μείωση του κόστους λειτουργίας των μονάδων, οχημάτων και συσκευών χάρις στις ΑΠΕ και την αποδοτικότητα, οδηγεί σε σχετική μείωση του μοναδιαίου κόστους συνολικά για τις ενεργειακές υπηρεσίες των καταναλωτών. Δηλαδή, ενώ η συνολική δαπάνη για τις ενεργειακές υπηρεσίες αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου σε όλα τα σενάρια, λόγω και της αύξησης της συνολικής ωφέλιμης (όχι τελικής) ενέργειας, ο ρυθμός αύξησης της συνολικής δαπάνης για τις ενεργειακές υπηρεσίες είναι μικρότερος από τον ρυθμό αύξησης του ΑΕΠ (ή του εισοδήματος ή της προστιθέμενης αξίας, ανάλογα με τον τομέα) και κατά συνέπεια η συνολική δαπάνη ως ποσοστό του ΑΕΠ μειώνεται από το 2020 και εφεξής σε όλα τα σενάρια και παρά τη θεαματική μετάβαση προς την κλιματικά ουδέτερη οικονομία.

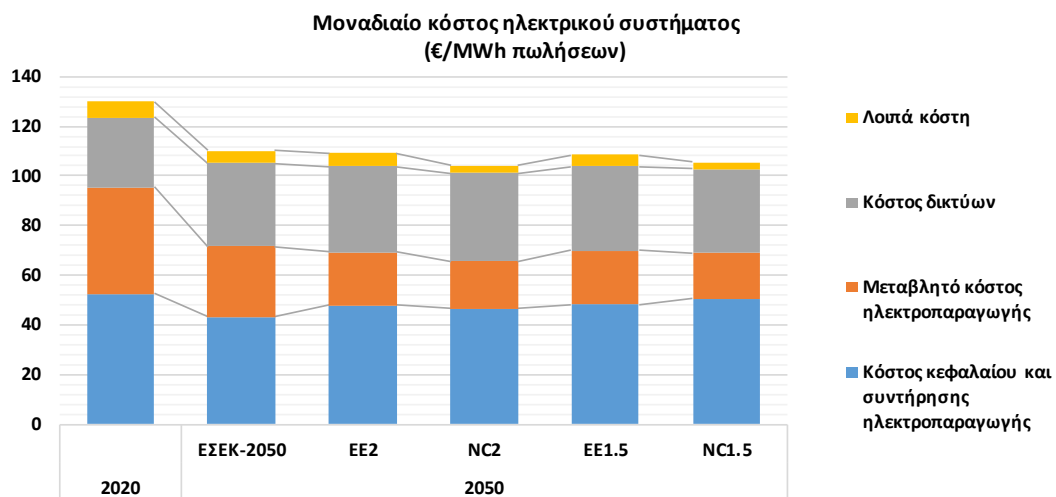
Σχήμα 33: Συνολικό κόστος ενεργειακών υπηρεσιών για τους τελικούς καταναλωτές

Συνολικό κόστος ενεργειακών υπηρεσιών για τους καταναλωτές: ετήσιο ανηγμένο κόστος των επενδύσεων και δαπανών αγοράς εξοπλισμού, συσκευών και οχημάτων καθώς και όλων των δαπανών λειτουργίας του εξοπλισμού και αγοράς ενεργειακών προϊόντων



Η εφαρμογή των κεντρικών μέτρων πολιτικής κατά το διάστημα 2030-2050 αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο συνολικό κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών για τους τελικούς καταναλωτές (συμπεριλαμβάνεται το ετήσιο ανηγμένο κόστος των επενδύσεων και δαπανών αγοράς εξοπλισμού, συσκευών και οχημάτων καθώς και όλων των ενεργειακών δαπανών λειτουργίας του εξοπλισμού και αγοράς ενεργειακών προϊόντων), ύψους 38 δις.€/έτος. Όμως για να επιτευχθεί ο κλιματικός στόχος των 2°C, η επιπλέον ετήσια δαπάνη στο διάστημα 2030-2050 υπολογίζεται να είναι 0.1 δις.€/έτος ενώ για να επιτευχθεί ο στόχος της κλιματικής ουδετερότητας (1.5°C) η επιπλέον ετήσια δαπάνη θα ανέρχεται σε 1 δις.€/έτος στο διάστημα 2030-2050.

Σχήμα 34: Διάρθρωση κόστους και μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας



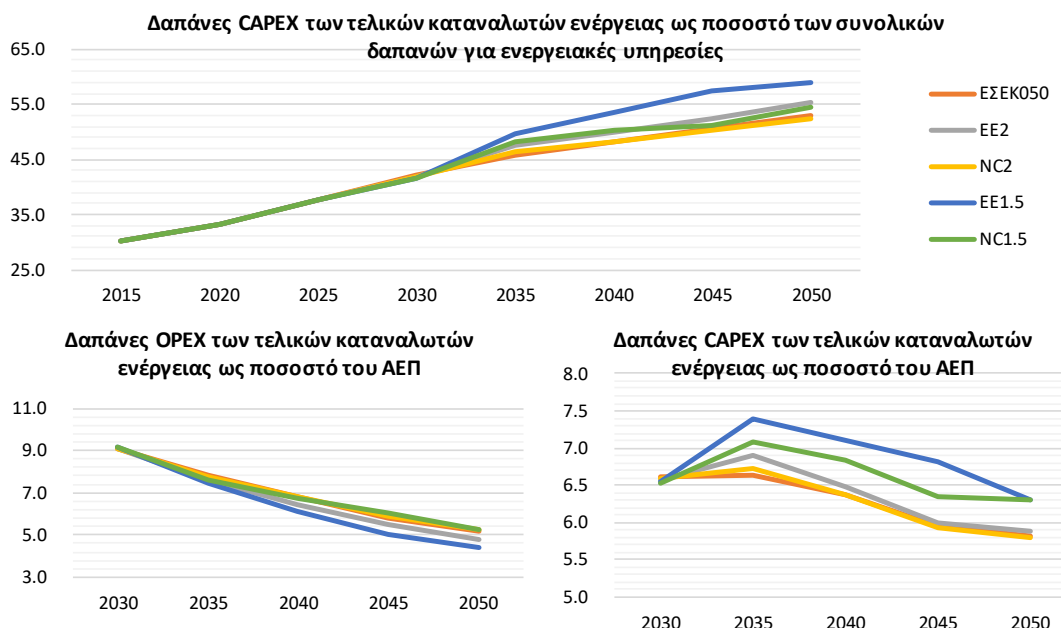
Ανάλογη τάση παρατηρείται για τις τιμές καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες διαφοροποιούνται κατά σενάριο αλλά παραμένουν μικρότερες από τα επίπεδα του 2030 στο διάστημα 2030-2050, παρά τον πλήρη μετασχηματισμό του ηλεκτρικού συστήματος σε ένα σύστημα με κυριαρχία των ΑΠΕ και της αποθήκευσης. Μάλιστα η συνεχής μείωση της μέσης τιμής ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται και στα σενάρια με παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, τα οποία, επειδή είναι ηλεκτροβόρα, οδηγούν σε μεγάλη μεγέθυνση του ηλεκτρικού τομέα και κατά συνέπεια της συνολικής ποσότητας των ΑΠΕ και της αποθήκευσης. Είναι επίσης σημαντικό το εύρημα ότι αν και οι μέσες τιμές καταναλωτή για τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, ιδίως στο

διάστημα 2030-2050, οι μέσες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, στις οποίες περιλαμβάνονται οι χρεώσεις για τα δίκτυα, μειώνονται. Η αύξηση των χρεώσεων των δικτύων αντιστοιχεί σε σημαντική αύξηση των επενδύσεων σε δίκτυα διανομής (κυρίως) και μεταφοράς λόγω των επεκτάσεων για τις ΑΠΕ, τη φόρτιση μπαταριών, την ενίσχυση υποσταθμών και των νέων τεχνολογιών ελέγχου και ψηφιοποίησης. Οι επενδύσεις αυτές εντείνονται στο διάστημα 2030-2050 συγκριτικά με το προηγούμενο διάστημα, πράγμα που αποτελεί τμήμα των βασικών πολιτικών για τις υποδομές.

Μεγάλη σημασία έχει η ανάπτυξη των κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για το μέσο κόστος της ηλεκτροπαραγωγής. Τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα αυξάνουν τον όγκο της ηλεκτροπαραγωγής και οδηγούν σε ανάπτυξη ΑΠΕ σε δυσκολότερες περιοχές με αυξημένο σχετικά κόστος, όμως ταυτόχρονα δίδουν μεγάλη ευελιξία στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέσω της χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, έμμεσα και άμεσα. Μέσω των κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, το σύστημα μεγιστοποιώντας την απορρόφηση των ΑΠΕ σε χρονικές στιγμές αφθονίας τους αποκτά πόρους να παράγει πολύ φθηνά ηλεκτρική ενέργεια σε στιγμές στενότητας των ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό εξομαλύνεται πλήρως η καμπύλη λειτουργίας μέσα στο χρόνο και επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακας, πράγμα που είναι επωφελές για το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής και τις τιμές καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα σενάρια με κλιματικά ουδέτερα καύσιμα η αύξηση του συνολικού όγκου του συστήματος επιμερίζει πάγια κόστη σε μεγαλύτερο όγκο καταναλώσεων με επωφελές αποτέλεσμα για τη μέση τιμή.

Όπως αναφέρθηκε, η διάρθρωση του συνολικού κόστους για τις ενεργειακές υπηρεσίες για τους τελικούς καταναλωτές, μεταβάλλεται σημαντικά μέσα στο χρόνο, με σταθερά μειούμενο το ποσοστό των δαπανών OPEX (δαπάνες για λειτουργία και καύσιμα) και σταθερά αυξανόμενο το ποσοστό των δαπανών CAPEX (εξυπηρέτησης κεφαλαίου και συντήρησης), ενώ όμως σταθερά μειώνεται το σύνολο του κόστους για τους καταναλωτές ως ποσοστό του ΑΕΠ.

Σχήμα 35: Διάρθρωση του κόστους για τους καταναλωτές σε πάγιο και μεταβλητό

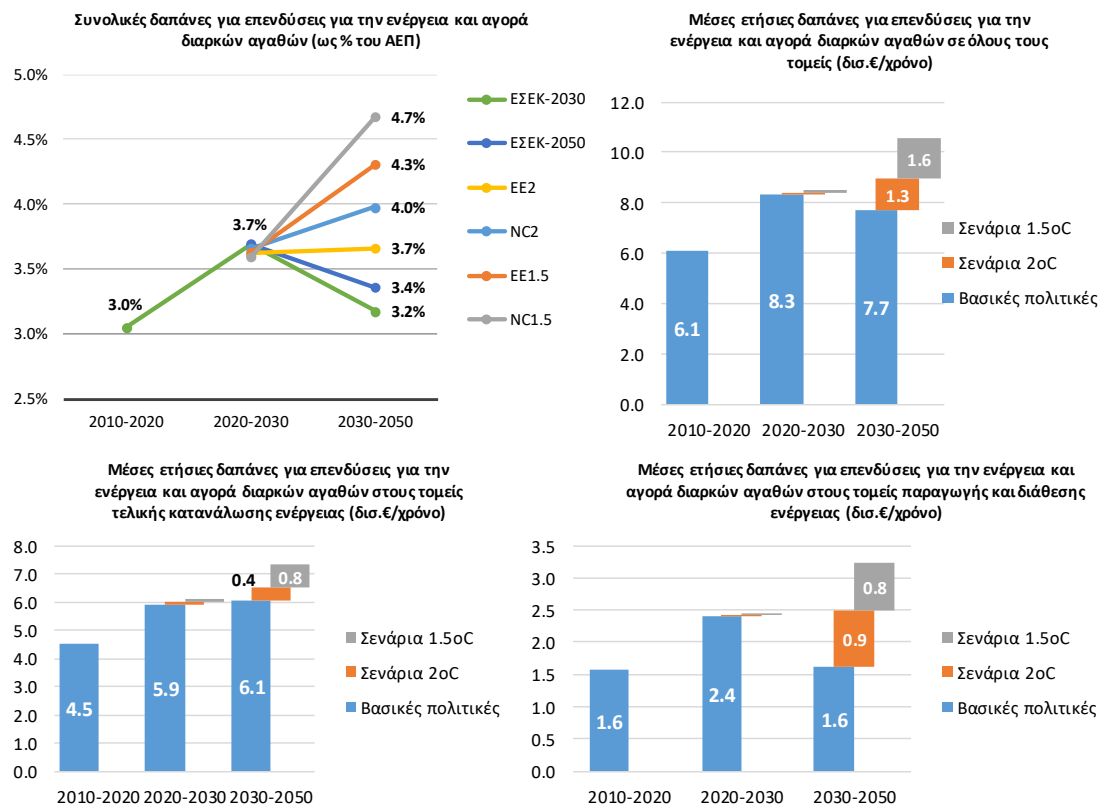


Οι τελευταίες αυξάνονται περισσότερο στα σενάρια EE, τα οποία επειδή βασίζονται περισσότερο σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συγκριτικά με τα σενάρια NC και περιλαμβάνουν μεγαλύτερες επενδύσεις σε εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και σε βιομηχανία. Τα σενάρια NC έχουν μεγαλύτερες επενδύσεις στην προσφορά ενέργειας συγκριτικά με τα σενάρια EE, οι οποίες ανακτώνται μέσω των τιμών των ενεργειακών προϊόντων που όμως παραμένουν σε παρόμοια ή και μικρότερα επίπεδα με αυτές των σεναρίων EE χάρις στις οικονομίες κλίμακας και τη μέγιστη αξιοποίηση των ΑΠΕ στα σενάρια NC. Οι δαπάνες επένδυσης στα σενάρια EE εκ μέρους των καταναλωτών λαμβάνουν χώρα

σε μεγάλη έκταση σχετικά στην αρχή της περιόδου 2030-2050, ενώ οι επενδύσεις στην προσφορά στο πλαίσιο των σεναρίων NC λαμβάνουν χώρα πιο μακροχρόνια, επειδή περιλαμβάνουν τις επενδύσεις για παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, τα οποία αργούν να ωριμάσουν βιομηχανικά. Κατά συνέπεια, οι δαπάνες επένδυσης των καταναλωτών σε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης αυξάνονται γρηγορότερα από το ρυθμό μεγέθυνσης του ΑΕΠ στην αρχή της περιόδου 2030-2050 και επιβραδύνονται προς το τέλος της περιόδου.

Οι συνολικές δαπάνες επενδύσεων (σε ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα) αυξάνονται σε απόλυτα μεγέθη σε όλο το χρονικό διάστημα 2030-2050 της μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα, συνεχίζοντας την αυξητική τάση της περιόδου 2020-2030, όπως προβλέπει το ΕΣΕΚ. Το συνολικό μέγεθος των επενδύσεων που αντιστοιχούν στους τελικούς καταναλωτές ενέργειας (επενδύσεις στους τομείς της ζήτησης) είναι πολύ υψηλότερες των επενδύσεων στους τομείς προσφοράς ενέργειας όταν στις πρώτες συνυπολογισθούν όλες οι δαπάνες επενδύσεων στην τελική κατανάλωση περιλαμβανομένων των δαπανών για την αγορά συσκευών, εξοπλισμού και οχημάτων (στο σχήμα 36 συμπεριλαμβάνεται το μέρος της δαπάνης και για τον τομέα των μεταφορών το οποίο αντιστοιχεί στο επιπλέον κόστος συγκριτικά με συμβατικά οχήματα αυτοκίνητα, φορτηγά τρένα, κλπ.).

Σχήμα 36: Διάρθρωση των επενδυτικών δαπανών



Επισημαίνεται ότι αυτή η προσέγγιση αποτυπώνει το συνολικό κόστος επενδύσεων, ενώ αποτυπώνει και το αντίστοιχο διαφορικό κόστος που παρουσιάζεται στο ΕΣΕΚ, δηλαδή το κόστος εκείνων των επιπρόσθετων επενδύσεων που κρίνονται απαραίτητες για την επίτευξη των συγκεκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων. Ουσιαστικά σε επίπεδο διαφορικού κόστους προκύπτει μέση αύξηση της συνολικής ετήσιας δαπάνης κατά περίπου 2.3 δισ. € την περίοδο 2030-2050, σε σχέση με την περίοδο 2020-2030, για τα σενάρια του 1.5 °C και αντίστοιχα λιγότερο από 1 δισ.€ για τα σενάρια των 2 °C,

Λόγω της αυξανόμενης επένδυσης σε κτίρια και λόγω της αγοράς συσκευών και οχημάτων πιο προηγμένων τεχνολογιών η επενδυτική δαπάνη των τελικών καταναλωτών αυξάνεται σημαντικά στο διάστημα 2030-2050, ιδίως στο διάστημα 2030-2040 και μετριάζεται κάπως στο διάστημα 2040-2050. Οι κλιματικοί στόχοι απαιτούν αύξηση της επενδυτικής δαπάνης των τελικών καταναλωτών από 0.4 έως 1.2 δισ.€ το χρόνο ανάλογα με το σενάριο 2°C ή 1.5°C. Στον τομέα της προσφοράς ενέργειας οι βασικές πολιτικές οδηγούν σε μέση ετήσια επενδυτική δαπάνη της τάξης των 1.6 δισ.€ το χρόνο, η οποία πρέπει να προσαυξηθεί κατά 0.9 έως 1.7 δισ. € το χρόνο ανάλογα με το σενάριο 2°C ή 1.5°C αντίστοιχα. Συνολικά η μέση ετήσια δαπάνη κατά την περίοδο 2030-2050 όπως απαιτείται για την προσέγγιση της κλιματικής ουδετερότητας είναι 3.3 δισ.€ η οποία είναι υψηλότερη κατά περίπου 1 δισ.€ της μέσης επενδυτικής δαπάνης κατά την περίοδο 2020-2030 στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ.

Η συνολική επενδυτική δαπάνη ως ποσοστό του ΑΕΠ μειώνεται σχετικά μετά το 2030 στα σενάρια των 2°C αλλά αυξάνεται στα σενάρια του 1.5°C. Παρά τις αυξημένες επενδυτικές δαπάνες στα σενάρια του 1.5°C, το συνολικό κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών για τους τελικούς καταναλωτές συνεχίζει να μειώνεται συνεχώς μετά το 2020 και στα σενάρια αυτά, όπως επίσης και η μέση τιμή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 11: Σύνοψη επενδυτικών δαπανών ανά τομέα

εκ. €/έτος	2030-2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Βιομηχανία	149	156	310	208	349	397
Οικιακός τομέας - αναβάθμιση κτιρίων	307	455	554	474	838	617
Οικιακός τομέας - αγορά συσκευών	3712	3688	3897	3721	4554	3760
Υπηρεσίες και Γεωργία - αναβάθμιση κτιρίων	112	158	183	166	216	210
Υπηρεσίες και Γεωργία - αγορά συσκευών	1084	1038	1169	1050	1231	1151
Μεταφορές - σύνολο αγοράς μεταφορικών μέσων κλπ.	12383	12938	12552	13058	13023	13390
Ηλεκτροπαραγωγή	436	516	593	1287	787	2003
Δίκτυα	873	1048	1086	1140	1247	1220
Λοιποί τομείς προσφοράς ενέργειας	187	211	202	674	268	974
Σύνολο για αναβάθμιση κτιρίων	419	613	737	640	1054	827
Σύνολο τομέων ζήτησης χωρίς τις μεταφορές	5364	5495	6113	5619	7188	6135
Σύνολο τομέων προσφοράς ενέργειας	1496	1775	1881	3101	2302	4197
Σύνολο χωρίς τις μεταφορές	6860	7270	7994	8720	9490	10332
ως ποσοστό του ΑΕΠ χωρίς τις μεταφορές	1.94	2.05	2.26	2.46	2.68	2.92

Όπως αναμενόταν, το σύνολο των επενδυτικών δαπανών για αναβάθμιση κτιρίων είναι αρκετά μεγαλύτερο στα σενάρια EE συγκριτικά με τα σενάρια NC, το οποίο είναι παρόμοιας τάξης μεγέθους με το σχέδιο ΕΣΕΚ για την περίοδο 2020-2030. Οι επενδύσεις σε τομείς προσφοράς ενέργειας, τόσο στην ηλεκτροπαραγωγή όσο και στους λοιπούς τομείς, είναι ιδιαίτερα αυξημένες στα σενάρια NC συγκριτικά με τα σενάρια EE. Συνολικά οι επενδύσεις στα σενάρια 1.5°C είναι αρκετά υψηλότερες από τις επενδύσεις στα σενάρια EE. Οι επενδύσεις στους τομείς αερίου και κλιματικά ουδέτερων καυσίμων στο σενάριο NC1.5 πλησιάζει το 1 δισ.€ ετησίως στην περίοδο 2030-2050 επιπλέον των αυξημένων επενδύσεων σε ηλεκτροπαραγωγή και δίκτυα.

Συγκριτικά με το σενάριο βασικών πολιτικών ΕΣΕΚ-2050, οι συνολικές επενδύσεις στα σενάρια της κλιματικής ουδετερότητας είναι περίπου μεγαλύτερες περίπου κατά 1 ποσοστιαία μονάδα του ΑΕΠ ετησίως.

5 Άξονες πολιτικής για την μακροχρόνια στρατηγική και στόχοι 2050

Η πορεία προς την κλιματικά ουδέτερη οικονομία απαιτεί εξάλειψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλους τους τομείς. Ο στόχος στα σχετικά σενάρια τίθεται σε μείωση των εκπομπών κατά 95% το έτος 2050, συγκριτικά με τα επίπεδα εκπομπών του έτους 1990. Οι στόχοι αυτοί συμβάλλουν στη διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τον 1.5 βαθμό Κελσίου στο δεύτερο ήμισυ του αιώνα. Στην περίπτωση που υιοθετηθεί στόχος για θερμοκρασία κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου, οι στόχοι για τη μείωση των εκπομπών το έτος 2050 μπορούν να περιορισθούν στο 85% κάτω από τα επίπεδα του έτους 1990.

Για τους σκοπούς της ανάλυσης, μελετήθηκε σενάριο συνέχισης των πολιτικών ΕΣΕΚ στην περίοδο 2030-2050 με πιο μεγάλη ένταση και έκταση (σενάριο ΕΣΕΚ-2050) χωρίς να προστεθούν νέες πολιτικές καινοτόμου χαρακτήρα. Καταδείχθηκε από την ανάλυση ότι οι βασικές αυτές πολιτικές είναι αδιαμφισβήτητης αξίας, με κριτήρια κόστους-οφέλους για όλους τους καταναλωτές και το σύστημα της ενέργειας. Κατά συνέπεια οι βασικές πολιτικές αυτές θεωρούνται ότι εφαρμόζονται σε όλα τα σενάρια και είναι στην ουσία το εφελκυστικό για την ανάπτυξη επιπλέον παρεμβάσεων. Αυτές είναι αναγκαίες, γιατί η ανάλυση έδειξε ότι παρά την εντατική και εκτεταμένη εφαρμογή τους, οι βασικές πολιτικές δεν επαρκούν για να επιτευχθούν οι κλιματικοί στόχοι μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια των 2 βαθμών Κελσίου και ακόμα περισσότερο για τα σενάρια του 1.5 βαθμού. Χρειάζονται καινοτόμες παρεμβάσεις, καινοτόμες τεχνολογίες που δεν είναι πλήρως ώριμες σήμερα σε βιομηχανικό επίπεδο, αλλά και πρακτικές καθώς και συμπεριφορές που είναι διαφορετικές από τις συμβατικές προσεγγίσεις. Τα σενάρια σχεδιάστηκαν με τρόπο ώστε να εξερευνήσουν τις δυνατότητες, τα οφέλη και το κόστος των επιπλέον παρεμβάσεων διακρίνοντας δύο διαφορετικές προτεραιότητες, η μία δίδοντας βάρος στην εφαρμογή τεχνολογιών και πρακτικών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης σε ακραίο βαθμό σε όλους τους τομείς και η άλλη που μετριάξει την ακραία εφαρμογή αποδοτικότητας και εξηλεκτρισμού αλλά αναπτύσσει κλιματικά ουδέτερα καύσιμα για την υποκατάσταση των μικρών ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων που αλλιώς θα παρέμεναν σε χρήση μακροχρόνια. Τα διαφορετικά αυτά σενάρια μελετήθηκαν και για τις δύο περιπτώσεις κλιματικών στόχων, δηλαδή τη μείωση των εκπομπών κατά 85% και τη μείωση κατά 95% το 2050 από τα επίπεδα του 1990.

Τα σενάρια του 95% είναι πολύ απαιτητικά σχετικά με τη μείωση των εκπομπών σε όλους τους τομείς. Ιδιαίτερα ανελαστικές είναι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου εκτός διοξειδίου άνθρακα, δηλαδή σε γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες κυρίως, καθώς και οι εκπομπές διοξειδίου άνθρακα από βιομηχανικές διεργασίες εκτός καύσης ορυκτών καυσίμων. Για τον σχεδόν μηδενισμό του ισοζυγίου εκπομπών θα είναι απαραίτητη η επίτευξη αρνητικών εκπομπών διοξειδίου άνθρακα, ώστε να αντισταθμίζονται οι θετικές εκπομπές που δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν. Για το σκοπό αυτό, γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι εφαρμόζεται η τεχνική της δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα σε περιορισμένη έκταση όμως. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνονται αρνητικές εκπομπές μέσω δέσμευσης εκπομπών από καύση βιομάζας στη ηλεκτροπαραγωγή, δεσμεύονται εκπομπές βιομηχανικών διεργασιών αλλά και από τον αέρα και το βιομεθάνιο, ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί το διοξείδιο άνθρακα στη σύνθεση κλιματικά ουδέτερων υδρογονανθράκων για αέριο, καύσιμα και πρώτες ύλες της χημικής βιομηχανίας. Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται στα σενάρια που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών κατά 95% το 2050.

Η μακροχρόνια στρατηγική προς την κλιματική ουδετερότητα το 2050 περιλαμβάνει βασικές πολιτικές που ταξινομούνται στους εξής άξονες:

1. Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
2. Εξηλεκτρισμός μεταφορών και θερμότητας
3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
4. Καθαρή κινητικότητα στον τομέα των μεταφορών
5. Βιομηχανική ανταγωνιστικότητα και κλιματική ουδετερότητα
6. Υποδομές σε δίκτυα και πολιτικές ολοκλήρωσης αγορών
7. Βιο-οικονομία

Οι καινοτόμες πολιτικές και τεχνικές περιλαμβάνουν εναλλακτικές λύσεις οι οποίες διαφοροποιούνται στα σενάρια και αναφέρονται σε:

1. Ακραίες παρεμβάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
2. Κυκλική οικονομία σε μεγάλη κλίμακα.
3. Εξηλεκτρισμός σε όλους τους τομείς και σε χρήσεις ή μεταφορικά μέσα όπου οι σχετικές τεχνολογίες είναι σήμερα ανώριμες.
4. Συμπεριφορές και οργανωτικές παρεμβάσεις που μειώνουν τη δραστηριότητα αυτοκινήτων και φορτηγών.
5. Ανάπτυξη χημικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδρογόνου.
6. Σύζευξη των τομέων μέσω της παραγωγής και διάθεσης κλιματικά ουδέτερων υδρογονανθράκων και της απευθείας χρήσης του υδρογόνου σε ορισμένες εφαρμογές στη βιομηχανία, στις μεταφορές και στη διανομή αερίου.
7. Εφαρμογή δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα, σε υπόγειους σχηματισμούς και χημικά υλικά.

Ο ηλεκτρικός τομέας έχει να διαδραματίσει κομβικό ρόλο στο πλαίσιο της μετάβασης γιατί είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό και σκόπιμο να μειώσει δραστικά το ανθρακικό του αποτύπωμα, προκειμένου να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών σε άλλους τομείς, κυρίως στις μεταφορές και στη θερμότητα. Ο εξηλεκτρισμός δεν μπορεί τεχνικά να είναι ολοκληρωτικός στους τομείς αυτούς, όμως η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλύψει πολλαπλάσιο μερίδιο στους τομείς αυτούς συγκριτικά με τα σημερινά επίπεδα με οικονομική αποτελεσματικότητα και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε όλους τους τομείς της τελικής κατανάλωσης ενέργειας έχει θεμελιώδη σημασία για τη μετάβαση και την οικονομική αποδοτικότητα. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας μέσω ενεργειακής αναβάθμισης του κελύφους των κτιρίων είναι πολύ μεγάλο και δεν έχει γίνει επαρκής εκμετάλλευσή του παρά την οικονομική αποδοτικότητα των σχετικών επενδύσεων. Εμπόδια θεσμικά, χρηματοδοτικά και τεχνικά, αβεβαιότητες και έλλειψη συντονισμού εμποδίζουν τις επενδύσεις στα κτίρια. Η άρση των εμποδίων αυτών, πέραν των οικονομικών κινήτρων, είναι σε θέση να προσδώσει μεγάλη ώθηση σε επενδύσεις στα κτίρια. Ποσοτικά, η ενεργειακή αναβάθμιση των παλαιών κτιρίων έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω και του σχετικά αργού ρυθμού ανανέωσης του κτιριακού αποθέματος. Τα σενάρια προς την κλιματική ουδετερότητα προβλέπουν σχεδόν πλήρη αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος μέχρι το 2050 και εφαρμογή αυστηρών ενεργειακών προδιαγραφών για τα νέα κτίρια.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης εξαρτάται επίσης από την επιλογή συσκευών και εξοπλισμών προηγμένης ενεργειακά τεχνολογίας και απόδοσης. Τα σενάρια υποθέτουν ότι οι κανονισμοί eco-design εφαρμόζουν προοδευτικά αυστηρότερες προδιαγραφές ενώ η βιομηχανία, όπως και στο πρόσφατο παρελθόν, είναι σε θέση να παράγει προηγμένα τεχνολογικά προϊόντα, σε σχετικά μειούμενο κόστος με την πάροδο του χρόνου. Ενώ η ωφέλιμη ενέργεια σε όλες τις χρήσεις αυξάνεται στα κτίρια μέσω της μεγέθυνσης των πραγματικών εισοδημάτων, η τελική ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται σημαντικά προς το 2050 χάρις στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Σε αυτό συμβάλλει και ο εξηλεκτρισμός της θέρμανσης μέσω αντλιών θερμότητας, οι οποίες είναι ιδιαίτερα αποδοτικές, ακολουθούν τροχιά μειούμενου κόστους και συνδυάζονται αποτελεσματικά με εκ βαθέων ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων.

Δυναμικό εκμετάλλευσης ενεργειακής αποδοτικότητας υπάρχει και για τη βιομηχανία αν και σε μικρότερο βαθμό από ότι στα κτίρια, δεδομένου ότι η επιδίωξη οικονομικής ανταγωνιστικότητας των βιομηχανικών επιχειρήσεων τις οδηγεί να επιλέγουν τις τεχνολογίες με τη μεγαλύτερη δυνατή σχέση ενεργειακής αποδοτικότητας και κόστους σε κάθε επενδυτικό κύκλο για την παραγωγική διαδικασία. Τα σενάρια προς την κλιματική ουδετερότητα δίδουν ιδιαίτερη έμφαση στην μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση δυνατοτήτων ανάκτησης θερμότητας, στην εφαρμογή συστημάτων ελέγχου και στον εξηλεκτρισμό ιδίως των θερμικών χρήσεων μέσης και χαμηλής ενθαλπίας με συμβατικές αντλίες θερμότητας.

τητας καθώς και με τις εξελισσόμενες αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες αναμένεται να έχουν μεγάλη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο μέλλον. Και στη βιομηχανία, πάντως, ο εξηλεκτρισμός δεν μπορεί να καλύψει τεχνικά το σύνολο των ενεργειακών αναγκών, όμως έχει σημαντικό περιθώριο διείσδυσης με οικονομική αποτελεσματικότητα.

Τα σενάρια για την κλιματική ουδετερότητα επίσης επιδιώκουν την ανάπτυξη μετασχηματισμών της βιομηχανικής οργάνωσης και της εφοδιαστικής αλυσίδας που έχουν χαρακτηριστικά κυκλικής οικονομίας. Τα σενάρια προβλέπουν σημαντική αύξηση της ανακύκλωσης μετάλλων, γυαλιού, χαρτιού και συσκευασιών, καθώς και μείωση της απόρριψης συσκευών και εξαρτημάτων με παράλληλη αύξηση της συντήρησης και επισκευής τους. Τα σενάρια επίσης προβλέπουν τη σταδιακή πρόσμιξη νέων υλικών που θα επιτρέψουν τη μείωση του clinker στα οικοδομικά υλικά. Αποτέλεσμα των μετασχηματισμών προς την κυκλική οικονομία είναι η μείωση του όγκου παραγωγής βιομηχανικών πρώτων υλών που είναι μεγάλης εντάσεως ενέργειας.

Στον τομέα των μεταφορών, επιτυγχάνεται επίσης μεγάλη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά οχήματα είναι περίπου τρεις φορές πιο αποδοτικά ενεργειακά από τα συμβατικά οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης ενώ παράλληλα και οι συμβατικές τεχνολογίες προοδεύουν ως προς την αποδοτικότητα χάρη σε αυστηρότερες προδιαγραφές. Προβλέπονται επίσης μεταβολές στις συμπεριφορές, οι οποίες ενισχύουν την προτίμηση χρήσης δημοσίων μέσων μεταφοράς στις πόλεις, το διαμοιρασμό της χρήσης αυτοκινήτων (car sharing), τη μετακίνηση χωρίς ή με ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση και τη χρήση πολύ μικρών αυτοκινήτων εξειδικευμένων για μετακίνηση στις πόλεις. Περιλαμβάνονται επίσης υποθέσεις βελτίωσης της οργάνωσης και αυτοματισμών στην εφοδιαστική αλυσίδα, οι οποίες θα επιτρέπουν την αύξηση του ποσοστού πληρότητας των φορτηγών και την αυξημένη χρήση μέσων σταθερής τροχιάς και πλωτών μέσων για τις εμπορευματικές μεταφορές.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι μεγάλης σημασίας για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας όχι μόνο γιατί είναι ένας από τους φθηνότερους τρόπους μείωσης των εκπομπών αλλά και γιατί χωρίς την αποδοτικότητα θα ήταν μη βιώσιμη η εξάλειψη όλων των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η εξάλειψη αυτή θα απαιτήσει την ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, όπως υδρογόνο, συνθετικό μεθάνιο και συνθετικούς υδρογονάνθρακες. Τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα παράγονται κυρίως μέσω ηλεκτρικής ενέργειας με σχετικά μικρούς βαθμούς απόδοσης, και κατά συνέπεια η τυχόν παραγωγή τους σε κλίμακα ανάλογη των σημερινών ποσοτήτων κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων θα οδηγούσε σε τόσο μεγάλη αύξηση του μεγέθους του ηλεκτρικού συστήματος που θα έκανε μη βιώσιμη την απανθρακοποίηση του. Είναι επομένως θεμελιώδες να περιορισθούν όσο γίνεται οι συνολικές ποσότητες κλιματικά ουδέτερων καυσίμων που θα χρειασθούν για να επιτευχθεί η κλιματική ουδετερότητα, πράγμα που επιτυγχάνεται αφενός μέσω της μεγάλης βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς και του εξηλεκτρισμού των τελικών καταναλώσεων, εκεί όπου ο εξηλεκτρισμός είναι τεχνικά και οικονομικά αποδοτικός.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης είναι μέρος των βασικών πολιτικών, οι οποίες προσομοιώνονται σε ένα από τα σενάρια, και περιλαμβάνουν τις πολιτικές του ΕΣΕΚ για τις οποίες γίνεται υπόθεση εφαρμογής τους και στην περίοδο 2030-2050 αλλά με μεγαλύτερη ένταση και έκταση. Στα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, ιδίως στα σενάρια με μεγάλη έμφαση στην αποδοτικότητα και στον εξηλεκτρισμό, οι πολιτικές πρέπει να επεκταθούν ακόμα περισσότερο και σε εφαρμογές, οι οποίες με τα σημερινά δεδομένα αφορούν σε ανώριμες ακόμα τεχνολογικές λύσεις.

Τμήμα των βασικών πολιτικών είναι και οι ΑΠΕ, οι οποίες αναπτύσσονται θεαματικά σε όλα τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής. Οι ΑΠΕ αναπτύσσονται στην ηλεκτροπαραγωγή στην οποία κυριαρχούν, παράγοντας μεταξύ 85-90% του συνόλου το 2050 με αξιόπιστο τεχνικά τρόπο παρά τη μεταβλητότητά τους, χάρη στην ανάπτυξη αποθηκευτικών μέσων σε μεγάλη κλίμακα αλλά και στην ανάπτυξη της χημικής αποθήκευσης με υδρογόνο. Η παραγωγή κλιματικά ουδέτερων καυσίμων για διανομή στην τελική κατανάλωση αυξάνει τον όγκο της ηλεκτροπαραγωγής άρα και τον όγκο των ΑΠΕ, μέχρι σημείου διπλασιασμού του όγκου τους το 2050 συγκριτικά με σενάρια χωρίς κλιματικά

ουδέτερα καύσιμα. Όμως η παραγωγή αυτών των καυσίμων προσδίδει αξιοπιστία και ευελιξία στο ηλεκτρικό σύστημα, παρά τον τεράστιο όγκο των ΑΠΕ, γιατί επιτρέπει τη λεγόμενη έμμεση χημική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, δίδοντας δυνατότητα να παράγονται τα καύσιμα αυτά ενώ μεγιστοποιείται η χρήση ΑΠΕ κατά τις χρονικές στιγμές που υπάρχει αφθονία ΑΠΕ και να χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν ΑΠΕ. Αποτέλεσμα της συνέργειας είναι η εξομάλυνση της διακύμανσης της ηλεκτροπαραγωγής και του φορτίου. Οι συνέργειες αυτές και η κλίμακα ανάπτυξής τους είναι ιδιαίτερα επωφελείς για το κόστος της ηλεκτροπαραγωγής και τις τιμές καταναλωτή, οι οποίες μειώνονται συγκριτικά με σενάρια χωρίς τα κλιματικά ουδέτερα καύσιμα παρά την υπέρμετρη μεγέθυνση του όγκου του ηλεκτρικού συστήματος και των ΑΠΕ.

Το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης των ΑΠΕ καλύπτουν ώριμες σήμερα τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκά και τα χερσαία αιολικά, για τα οποία όμως γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι βελτιώνονται οι αποδόσεις τους ενώ συνεχίζεται, με κάποια επιβράδυνση πάντως, η πτωτική πορεία του μοναδιαίου τους κόστους. Οι τεχνολογίες αυτές αναπτύσσονται μακροχρόνια και σε διαφορετικές κλίμακες και εφαρμογές, όπως τα μικρά μεγέθη εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών και αιολικών σε στέγες, η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σε βιομηχανικές και εμπορικές στέγες, η αξιοποίηση αιολικών μεγάλου μεγέθους σε περιοχές με πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό, η εφαρμογή ευέλικτων φωτοβολταϊκών σε κτίρια κλπ. Τα σενάρια περιλαμβάνουν επίσης ανάπτυξη ΑΠΕ που δεν έχουν σήμερα εξαντλήσει τις δυνατότητες εκμάθησης, όπως τα θερμικά ηλιακά ηλεκτροπαραγωγής, τα θαλάσσια αιολικά, τα οποία αναπτύσσονται μακροχρόνια με βάση την τεχνολογία των πλωτών αιολικών, η γεωθερμία μέσης και υψηλής ενθαλπίας και η κυματική ενέργεια.

Η ανάπτυξη των μέσων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εξελίσσεται πρώτα με εκμετάλλευση των δυνατοτήτων για αντλησιοταμιευτήρες μεγάλου μεγέθους, στη συνέχεια με την ανάπτυξη συστημάτων μπαταριών και μακροχρόνια με την εφαρμογή χημικής αποθήκευσης με βάση το υδρογόνο. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες μπαταριών, οι μικρές μπαταρίες που εγκαθίστανται σε συνδυασμό με μονάδα παραγωγής από ΑΠΕ, οι μπαταρίες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους που συνδυάζονται με το δίκτυο διανομής και οι μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Κάθε κατηγορία διαφοροποιείται ως προς το κόστος, τις δυνατότητες εφαρμογής και τις οικονομικές προϋποθέσεις για επενδύσεις. Γίνεται η υπόθεση ότι κατάλληλα ψηφιακά συστήματα και αυτοματισμοί επιτρέπουν την εκμετάλλευση των μπαταριών και για υπηρεσίες συστήματος, διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις μικρές συστοιχίες ΑΠΕ και μπαταριών και μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες αποθήκευσης και μέσω των μπαταριών αυτοκινήτων σε συνδυασμό με τη χρήση τους στις μεταφορές.

Παρά την ανάπτυξη των μπαταριών και των υποστηρικτικών συστημάτων, είναι δύσκολη η διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος με αξιόπιστο τρόπο χωρίς τη χημική αποθήκευση με υδρογόνο, η οποία έχει μεγάλη ευελιξία αναφορικά με το μήκος του κύκλου αποθήκευσης και επιτρέπει τη διατήρηση κλιματικά ουδέτερης στρεφόμενης εφεδρείας στο σύστημα. Τα σενάρια με χημική αποθήκευση και με συνδυασμό έμμεσης αποθήκευσης από την κατάλληλη διαχείριση της παραγωγής κλιματικά ουδέτερων καυσίμων περιγράφουν ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο και οικονομικά αποτελεσματικό ηλεκτρικό σύστημα παρά τη μεγάλο του μέγεθος και την πλήρη κυριαρχία των μεταβλητών ΑΠΕ.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ προϋποθέτει επιχειρηματικά σχήματα, οργανώσεις και πρακτικές μεγάλης κλίμακας ώστε να επιτύχουν τις οικονομίες και αποδόσεις των μεγάλων επιχειρήσεων ορυκτών καυσίμων του ενεργειακού τομέα του παρελθόντος. Δεν απαιτείται όμως πια υπερ-συγκέντρωση της παραγωγής των ΑΠΕ, δεδομένου μάλιστα ότι σημαντικό τους τμήμα θα έχει αποκεντρωμένο χαρακτήρα. Οι οικονομίες κλίμακας αφορούν κυρίως στην οργάνωση της πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες με βάση χαρτοφυλάκια ενέργειας με ΑΠΕ και τη διασφάλιση της απρόσκοπτης παροχής μέσω αξιόπιστης και φθηνής εξισορρόπησης καθώς και παροχής εφεδρικών υπηρεσιών. Απαιτούνται όμως και μεγάλα έργα ΑΠΕ ώστε να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά το μεγάλο δυναμικό της χώρας. Η ανάπτυξη των διασυνδέσεων στο εσωτερικό και το εξωτερικό αλλά και η διάθεση της δυναμικότητάς τους απευθείας στις αγορές και την εξισορρόπηση θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για την επίτευξη οικονομικών κλίμακας και μέγιστης αξιοπιστίας σχετικά με την εξισορρόπηση και τις εφεδρείες.

Θα αναπτυχθούν καινοτόμες ιδέες για την οργάνωση των αγορών και του ανταγωνισμού που θα αφορά στην πώληση χαρτοφυλακίων ΑΠΕ και εξισορρόπησης σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση των δικτύων. Ιδέες που θα εφαρμοσθούν και θα αναπτυχθούν περαιτέρω είναι, για παράδειγμα, η μεγάλη ανάπτυξη επιχειρήσεων σωρευτικής διαχείρισης των ΑΠΕ (aggregators), η χρέωση του επιπέδου αξιοπιστίας στους καταναλωτές ανάλογα με τη θέληση για πληρωμή αναφορικά με τη διακοψιμότητα, η διαμόρφωση αγορών, άμεσων και προθεσμιακών, για προϊόντα σχετικά με την αξιοπιστία, την εξισορρόπηση και τις διασυνδέσεις, η εφαρμογή προηγμένων ψηφιακών συστημάτων διαχείρισης των αποκεντρωμένων συναλλαγών (όπως οι βάσεις δεδομένων blockchain) και πιθανόν η χρέωση των υπηρεσιών δικτύων σε συνδρομητική βάση ανάλογα με τη ζήτηση και θέληση για πληρωμή των διαφόρων κατηγοριών καταναλωτών. Τα νέα αυτά συστήματα οργάνωσης της επιχειρηματικότητας στηρίζονται σε εκτεταμένη ψηφιοποίηση των συστημάτων και των μετρητών. Μεγάλης και ανάλογης σημασίας είναι η ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης των μπαταριών αυτοκινήτων, η αυτόματη και ευέλικτη διαχείρισή του και η διαλειτουργικότητα σε συνδυασμό με το συμβατικό δίκτυο διανομής.

Οι ΑΠΕ και τα συστήματα για την αγορά και τα δίκτυα είναι μεταξύ των βασικών πολιτικών με τη μεγαλύτερη σημασία και για το λόγο αυτό περιλαμβάνονται σε όλα τα σενάρια.

Η βιο-οικονομία επίσης αποτελεί προτεραιότητα στο πλαίσιο των βασικών πολιτικών. Η ανάπτυξή της μπορεί να έχει πολλαπλασιαστικά οφέλη για την οικονομία και την απασχόληση αφού βασίζεται σε εγχώρια προστιθέμενη αξία τόσο στην παραγωγή όσο και στην βιομηχανική μετατροπή της βιομάζας σε ενεργειακά προϊόντα. Η προοπτική είναι η βιομηχανική οργάνωση με μεγάλες αποδόσεις κλίμακας, τόσο στην παραγωγή, όσο και στην εφοδιαστική αλυσίδα και τα εργοστάσια χημικής μετατροπής. Στο πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής, προτεραιότητα έχουν το βιοαέριο και τα προηγμένα βιοκαύσιμα.

Το βιοαέριο παραγόμενο σε μεγάλη κλίμακα και αναμορφωμένο σε βιομεθάνιο αποτελεί φθηνή, πρακτική και άμεσης εφαρμογής λύση για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του διανεμμένου αερίου. Αποτελεί επίσης τον πρόδρομο για την ανάμειξη στο μέλλον κλιματικά ουδέτερου υδρογόνου και μεθανίου στα δίκτυα αερίου.

Τα βιοκαύσιμα προηγμένης γενιάς, πλήρως υποκαταστάσιμα των ορυκτών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών, είναι τεχνολογικά και οικονομικά εφικτά σε ορατό μέλλον. Η πρώτη ύλη βιομάζας θα βασίζεται σε ενεργειακές καλλιέργειες δένδρων και φυτών ξυλώδους υφής και η μετατροπή τους σε βιοκαύσιμα θα γίνεται σε βιο-διυλιστήρια με τεχνολογίες παρόμοιες των διυλιστηρίων πετρελαίου.

Η προοπτική της βιο-οικονομίας είναι θεμελιώδους σημασίας αλλά περιορίζεται από τη διαθέσιμη πρώτη ύλη βιομάζας. Κατάλληλες πολιτικές θα πρέπει να αναπτύσσουν το εγχώριο αυτό δυναμικό και να επιτύχουν οργάνωση της γεωργικής παραγωγής σε βιομηχανική κλίμακα.

Η μετάβαση και ο ριζικός μετασχηματισμός του συστήματος ώστε να προσεγγίσει την κλιματικά ουδέτερη οικονομία το 2050 είναι μεγάλης εντάσεως κεφαλαίου αλλά συνοδεύονται με μείωση του συνολικού κόστους των ενεργειακών υπηρεσιών για τους τελικούς καταναλωτές ως ποσοστό του εισοδήματός τους και της προστιθέμενης αξίας στη βιομηχανία και στις υπηρεσίες. Οι συνολικές επενδυτικές δαπάνες είναι μεγάλες αλλά οδηγούν σε μείωση του λειτουργικού κόστους και του κόστους για ενεργειακά προϊόντα με αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίων να αντισταθμίζεται από την πτώση του μεταβλητού κόστους. Η συνέργεια ΑΠΕ, αποθήκευσης και υδρογόνου είναι επωφελής για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με τη βιομηχανική ωρίμανση των σχετικών τεχνολογιών στο μέλλον. Η παραγωγή μπαταριών σε μεγάλη κλίμακα και με προηγμένες τεχνολογίες αναμένεται να συνεχίσει και να επιτείνει την πτωτική πορεία του κόστους τους, με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό αυτοκίνητο να γίνει η οικονομικότερη επιλογή περί το 2030 και πολύ περισσότερο μετά το 2030, παράλληλα με την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Το μεγάλο οικονομικό όφελος για τους καταναλωτές προκύπτει από τις επενδύσεις σε εξοικονόμηση ενέργειας και την αγορά προηγμένων ενεργειακά συσκευών.

Στο πλαίσιο αυτό, η βιομηχανία θα έχει μείωση του κόστους της ενέργειας, τόσο στην ηλεκτρική ενέργεια όσο και συνολικά, χάρη επίσης και στην εξοικονόμηση και στον εξηλεκτρισμό, ενώ ταυτόχρονα θα μειώνεται το ανθρακικό της αποτύπωμα, άμεσα και έμμεσα.

Οι μεγάλες επενδύσεις σε ΑΠΕ, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, βιο-οικονομία, δίκτυα, συσκευές και οχήματα μπορούν να αποτελέσουν ευκαιρία ανάπτυξης της εγχώριας παραγωγής τόσο από παραδοσιακές βιομηχανίες που υπάρχουν στην Ελλάδα όσο και μέσω ανάπτυξης νέων επιχειρήσεων και μεταποίησης για καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες. Η βιομηχανική ανάπτυξη ευνοείται από τις προοπτικές μεγέθυνσης της εγχώριας ζήτησης για την πραγματοποίηση των ενεργειακών επενδύσεων που προβλέπει η στρατηγική, ενώ ταυτόχρονα δεν επιβαρύνεται η ανταγωνιστικότητα αφού μειώνεται το συνολικό ενεργειακό κόστος.

6 Παραρτήματα

6.1 Περίληψη των υποθέσεων σχετικά με το κόστος και την απόδοση ενεργειακών τεχνολογιών

Πίνακας 12: Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής

	Overnight Investment Costs in a greenfield site, excluding financial costs during construction time (full installation costs, not only equipment)				Fixed Operation and Maintenance costs, annually				Variable non-fuel cost				Electrical Efficiency (net) in optimal load operation			
	EUR/kW				EUR/kW				EUR/MWh				ratio			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Steam Turbine Coal Supercritical	1700	1700	1700	1700	41.5	35.7	31.7	30.9	3.63	3.51	3.38	3.35	0.45	0.46	0.47	0.47
Steam Turbine Lignite Supercritical	2000	2000	2000	2000	46.8	42.4	39.4	38.8	4.16	4.01	2.85	2.70	0.41	0.42	0.43	0.44
Gas Turbine Combined Cycle Gas Advanced	820	770	750	750	15.0	15.0	15.0	15.0	1.99	1.90	1.81	1.73	0.60	0.61	0.62	0.63
Pulverized Lignite Supercritical CCS post combustion	3600	3420	3250	3200	68.6	65.0	61.6	60.6	6.24	6.02	4.28	4.04	0.32	0.33	0.34	0.35
Integrated Gasification Coal CCS pre-combustion	3550	3350	3250	3150	69.8	65.9	63.9	61.9	7.74	7.44	7.17	6.91	0.37	0.39	0.40	0.41
Integrated Gasification Lignite CCS pre-combustion	3950	3750	3650	3550	77.6	73.6	71.6	69.6	6.38	6.15	5.95	5.75	0.34	0.37	0.38	0.39
Pulverized Coal Supercritical CCS oxyfuel	3400	3150	2890	2850	75.5	64.7	55.5	53.9	6.06	5.86	5.64	5.59	0.36	0.37	0.38	0.38
Pulverized Lignite Supercritical CCS oxyfuel	3800	3550	3350	3300	72.6	67.6	63.6	62.6	6.94	6.70	4.76	4.50	0.32	0.33	0.34	0.35
Gas combined cycle CCS oxyfuel	2013	1820	1650	1628	46.3	42.1	38.0	36.8	3.45	3.34	3.20	3.07	0.40	0.46	0.49	0.50
Steam Turbine Biomass Solid Conventional	2000	1800	1700	1700	47.5	40.1	39.2	38.4	3.56	3.56	3.56	3.56	0.35	0.39	0.40	0.40

	Overnight Investment Costs in a greenfield site, excluding financial costs during construction time (full installation costs, not only equipment)				Fixed Operation and Maintenance costs, annually				Variable non-fuel cost				Electrical Efficiency (net) in optimal load operation			
	EUR/kW				EUR/kW				EUR/MWh				ratio			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Steam Turbine Biomass Solid Conventional w. CCS	3800	3450	3090	3000	81.5	69.1	63.0	61.4	5.99	5.91	5.82	5.80	0.27	0.31	0.32	0.32
Biogas Plant with Heat recovery	1300	1250	1150	1050	28.8	24.3	23.8	23.3	2.56	2.56	2.56	2.56	0.38	0.38	0.39	0.39
Nuclear III gen. (incl. economies of scale)	5300	5050	4750	4700	120	115	108	105.0	6.40	7.40	7.60	7.80	0.38	0.38	0.38	0.38
Nuclear III gen. (no economies of scale)	6000	6000	6000	6000	120	115	108	105.0	6.40	7.40	7.60	7.80	0.38	0.38	0.38	0.38
Fuel Cell Gas (large scale)	4447	3090	2871	2668	66.7	46.4	43.1	40.0	1.04	1.04	1.04	1.04	0.68	0.68	0.68	0.69
Wind onshore	1200	1066	915	848	22.0	21.0	21.0	20.0	0.25	0.25	0.25	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Wind offshore	2778	2048	1929	1891	42.0	31.0	29.0	28.0	0.39	0.39	0.39	0.39	1.00	1.00	1.00	1.00
Solar PV	721	690	567	495	22.0	15.0	13.0	11.0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Solar PV small scale rooftop	1435	930	745	610	24.0	17.0	15.0	13.0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Solar Thermal with 8 hours storage	5500	4237	3437	3075	121.0	113.0	99.0	77.0	0.10	0.10	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Tidal and waves	6100	3100	2025	1975	39.6	33.3	28.0	23.5	0.10	0.10	0.10	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Geothermal High Enthalpy	3901	3198	2897	2613	90.0	95.0	100.0	105.0	0.32	0.32	0.32	0.32	0.10	0.10	0.10	0.10
Geothermal Medium Enthalpy	4970	4586	3749	3306	95.0	95.0	92.0	92.0	0.32	0.32	0.32	0.32	0.10	0.10	0.10	0.10

Source: PRIMES model

Πίνακας 13: Τεχνικές ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων

Type of renovation measure (building envelope refurbishment)	Energy savings (%)	Investment Costs (Euro/Household)	Investment Costs (Euro/square meter)
Light renovation (light windows)	8%	2797	33
Light renovation (med. windows)	22%	6814	80
Light renovation (med. windows, light wall)	37%	11164	132
Light renovation (med. windows, light wall/roof)	55%	15076	178
Medium renovation (med. windows, med. wall/roof/basement)	67%	17221	203
Medium renovation (deep windows, med. wall/roof/basement)	74%	19164	226
Deep renovation (deep. windows, med. wall/roof/basement)	82%	22465	265
Deep renovation (deep. windows, deep wall/roof/basement)	87%	25702	303

Source: PRIMES model

Πίνακας 14: Συσκευές και εξοπλισμοί

	Purchasing cost							Efficiency							
	Current	2030				Ultimate			Current	2030			Ultimate		
		From	To			From	To			From	To		From	To	
Technology	in EUR/appl							kWh/appliance or kWh/Household							
Dryers	554	495	685	803	387	680	791	316	280	226	214	272	175	144	
Dishwashers	489	470	543	765	436	539	753	249	235	214	185	232	200	133	
Refrigerators and freezers	574	547	733	867	496	728	854	219	215	171	152	210	115	72	
Washing machines	585	539	604	795	454	538	783	212	198	176	144	195	155	84	
Lighting	5	4	6	11	2	5	11	43	38	31	25	37	26	14	
Technology	in EUR/kW							%							
Boilers condensing Gas	195	191	224	273	171	210	237	0.87	0.89	0.93	0.96	0.90	0.98	1.03	
Wood stoves or Boiler pellets	410	401	471	610	373	442	590	0.72	0.74	0.77	0.79	0.74	0.79	0.81	
Heat Pump Air															
in South Countries								2.65	2.86	3.29	3.58	2.88	4.19	4.90	
in Middle South countries								2.38	2.56	2.95	3.21	2.58	3.75	4.39	
in Middle North countries	784	603	835	1080	267	673	1030	2.17	2.33	2.69	2.93	2.35	3.42	4.00	
in North countries								1.98	2.13	2.45	2.67	2.14	3.12	3.65	
Heat Pump Ground	1695	1385	1805	2335	1203	1570	1774	3.60	3.88	4.47	4.93	3.90	5.43	5.94	
Heat Pump Gas	1176	904	1194	1512	400	942	1339	1.30	1.40	1.61	1.78	1.41	1.96	2.14	
Gas individual (autonomous heater)	134	133	168	221	132	161	218	0.82	0.87	0.91	0.93	0.88	0.95	1.03	
Solar Thermal	1250	1158	1383	1635	955	1200	1347	0.58	0.59	0.61	0.62	0.60	0.63	0.65	
CHP ICE	2800	2345	2840	3145	1945	2450	2975	0.65	0.66	0.68	0.69	0.66	0.70	0.71	
CHP micro CCGT	4000	3631	4208	4825	2945	3825	4232	0.60	0.63	0.66	0.69	0.63	0.72	0.75	
CHP Fuel Cell	10000	8456	9945	11467	3502	4576	5600	0.65	0.69	0.71	0.73	0.71	0.73	0.75	

Source: PRIMES model

Πίνακας 15: Μεταφορικά μέσα

		Purchasing cost			Fixed O&M costs			Variable Non-fuel Cost			Specific energy consumption		
		EUR/vehicle			EUR/vehicle/year			EUR/vehicle-km			kWh/vehicle - km		
		2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate
Diesel Public road transport	Diesel	277,090	282,107	293,908	8,857	8,857	8,857	0.89	0.89	0.89	3.49	3.22	2.85
NGS Public road transport	Gas	301,283	304,418	309,122	9,557	9,557	9,557	0.89	0.89	0.89	3.89	3.72	3.47
Electric Public road transport	Electricity	351,517	310,375	312,790	14,054	10,831	10,831	0.89	0.89	0.89	1.00	0.97	0.96
H2 Public road transport	Hydrogen	377,386	344,376	322,856	16,397	11,934	11,934	0.89	0.89	0.89	2.30	2.04	1.93
Diesel Private cars	Diesel	22,795	22,869	24,942	1,450	1,450	1,450	0.09	0.09	0.09	0.47	0.32	0.27
Gasoline Private cars	Gasoline	19,403	20,077	22,623	1,300	1,300	1,300	0.09	0.09	0.09	0.56	0.38	0.31
NGS Private cars	Gas	21,484	22,891	24,704	1,380	1,380	1,380	0.09	0.09	0.09	0.52	0.48	0.45
Plug-in Hybrid Diesel Private cars	Plug Diesel	31,176	26,054	25,255	1,745	1,400	1,400	0.09	0.09	0.09	0.23	0.17	0.16
Plug-in Hybrid Gasoline Private cars	Plug Gasoline	29,671	24,085	22,813	1,669	1,330	1,330	0.09	0.09	0.09	0.26	0.19	0.16
Electric Private cars	Electricity	48,010	25,956	24,685	1,650	1,272	1,272	0.09	0.09	0.09	0.19	0.13	0.12
H ₂ Private cars	Hydrogen	82,130	38,729	28,616	1,718	1,250	1,250	0.09	0.09	0.09	0.38	0.30	0.28
Diesel Heavy duty vehicles	Diesel	105,926	111,777	134,001	6,527	6,527	6,527	0.59	0.59	0.59	2.74	2.28	1.89
NGS Heavy duty vehicles	Gas	118,980	124,830	147,054	7,034	7,034	7,034	0.59	0.59	0.59	3.39	2.83	2.34
Electric Heavy-duty vehicles	Electricity	230,600	151,929	157,320	10,180	7,846	7,846	0.59	0.59	0.59	1.32	1.29	1.28
H ₂ Heavy duty vehicles	Hydrogen	240,372	193,252	172,662	10,780	7,846	7,846	0.59	0.59	0.59	1.88	1.64	1.55

Source: PRIMES model

Πίνακας 16: Νέες τεχνολογίες υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων

	Investment cost (EUR/kW-output)			Fixed O&M costs (EUR/kW-output)			Variable, fuel and emissions cost per unit of output (EUR/MWh-output or per tCO ₂)			Total levelized cost per unit of output at a 8.5% discount rate (EUR/MWh-output or per tCO ₂)		
	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate
Hydrogen from natural gas steam reforming centralized - Large Scale with CCU (per 1 kW or 1 MWh H ₂ HHV)	900	850	800	36.0	34.0	32.0	88.0	115.0	249.0	107.0	133.0	267.0
Hydrogen from low temperature water electrolysis PEM centralized - Large Scale (per 1 kW or 1 MWh H ₂ HHV)	1400	340	200	49.0	15.0	10.0	72.5	78.0	86.0	99.0	85.0	90.0
Hydrogen from low temperature water electrolysis Alkaline centralized - Large Scale (per 1 kW or 1 MWh H ₂ HHV)	1100	300	180	28.0	14.0	9.0	73.0	83.0	87.0	92.0	89.0	90.0
Hydrogen from high temperature water electrolysis SOEC centralized (per 1 kW or 1 MWh H ₂ HHV)	1595	804	600	55.8	36.2	39.0	89.8	98.1	86.7	120.1	114.3	100.4
Methanation (per 1 kW or 1 MWh CH ₄ HHV)	1200	633	263	42.0	22.0	9.0	1.0	1.0	1.0	23.0	13.0	6.0
Power to liquid via the methanol route (per 1 kW or 1 MWh CH ₄ HHV)	1000	620	364	50.0	31.0	18.0	7.0	10.0	34.0	28.0	23.0	41.0
Power to liquid via the Fischer Tropsch route (per 1 kW or 1 MWh CH ₄ HHV)	1556	1143	673	54.0	40.0	24.0	2.0	2.0	6.0	31.0	24.0	19.0
Capture CO ₂ from air (Absorption technology) (per 1 tCO ₂)	770	648	518	26.9	22.7	18.1	0.2	0.2	0.2	117.0	99.0	78.9

Source: PRIMES model

Notes

a) Primes endogenously calculates electricity prices, therefore variable costs will be different from scenario to scenario. The variable costs in the table use base load electricity prices, carbon prices and fuel prices of a decarbonisation scenario for the respective years.

b) Costs of installation, land cost and grid connection is included in the investment costs of Large Scale Batteries.

c) Costs of the technology "Methanation" refer only to plants that comprise the second stage (inputs: Hydrogen and CO₂, output: CH₄) of a Power- to-Gas pathway. Similar for the "Power-to-Liquids" costs. The costs for capturing CO₂ or producing hydrogen are not included.

Πίνακας 17: Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

	Investment cost per unit of capacity (EUR/kW-output)			Fixed O&M cost per unit of capacity (EUR/kW-output)			Variable Cost EUR/MWh			Total levelized cost per unit of stored energy, at a 8.5% discount rate (EUR/MWh-stored)		
	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate	2015	2030	Ultimate
Compressed Air Energy Storage (per 1 kW or 1 MWh electricity)	125000	112500	110931	38.5	34.7	34.2	0.0	0.0	0.0	225.0	203.0	200.0
Flywheel (per 1 kW or 1 MWh electricity)	1750000	1575000	1553029	52.5	47.3	46.6	0.0	0.0	0.0	1127.0	1015.0	1000.0
Large-scale batteries (per 1 kW or 1 MWh electricity)	600000	253000	225484	40.5	15.0	13.1	0.0	0.0	0.0	311.0	122.0	108.0
Small-scale batteries (per 1 kW or 1 MWh electricity)	270000	114000	101619	16.9	6.3	5.5	0.0	0.0	0.0	74.0	31.0	27.0
Pumping (per 1 kW or 1 MWh electricity)	100000	90000	88745	22.5	20.3	20.0	0.0	0.0	0.0	155.0	140.0	138.0
Underground Hydrogen Storage (per 1 kW or 1 MWh H ₂)	5340	3936	3821	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.8	2.8	2.4	2.4
Pressurized tanks - Hydrogen storage (per 1 kW or 1 MWh H ₂)	6000	4800	4659	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.8	3.0	2.7	2.7
Liquid Hydrogen Storage - Cryogenic Storage (per 1 kW or 1 MWh H ₂)	8455	6800	4000	0.0	0.0	0.0	0.7	0.9	1.0	4.1	3.6	2.6
Metal Hydrides - Hydrogen Storage (per 1 kW or 1 MWh H ₂)	12700	11430	11271	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.8	5.7	5.3	5.3

Source: PRIMES model

6.2 Συνοπτικοί πίνακες κατά σενάριο

6.3 Το Μοντέλο PRIMES

Το PRIMES (σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο ΕΜΠ από το E3MLab) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο μεγάλου μεγέθους που προβάλλει την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος στο μέλλον και καλύπτει όλους τους τομείς ζήτησης (κτίρια, βιομηχανία, μεταφορές), παραγωγής (ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, θερμότητα, ΑΠΕ, βιομάζα, κλπ.) και διανομής (μέσω δικτύων και μεταφορικών μέσων) ενεργειακών προϊόντων κάθε μορφής και τεχνολογίας.

Το μοντέλο προσομοιώνει την διαμόρφωση της ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης σε όλες τις αγορές ενέργειας μέσω της εκτίμησης του κόστους και των τιμών των ενεργειακών προϊόντων. Η ισορροπία των αγορών είναι δυναμική στο χρόνο και για το σκοπό αυτό το μοντέλο υπολογίζει ενδογενώς τις επενδύσεις για την ενέργεια όπως και τη χρήση των εξοπλισμών τόσο στους τομείς ζήτησης όσο και προσφοράς ενέργειας. Στις επενδύσεις περιλαμβάνονται δαπάνες για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την επιλογή προηγμένων και αποδοτικών τεχνολογιών. Το μοντέλο προσομοιώνει με μεγάλη λεπτομέρεια τους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας.

Οι τιμές των ενεργειακών προϊόντων υπολογίζονται ενδογενώς με τρόπο ώστε να ανακτώνται τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας και επιδρούν στη ζήτηση ενέργειας καθώς και στο μείγμα των ενεργειακών μορφών. Το μοντέλο προβλέπει τη δυνατότητα οι τομείς της ζήτησης να μπορούν να ικανοποιούν τις ενεργειακές τους ανάγκες με δικά τους μέσα ή και να αγοράζουν ενεργειακά προϊόντα από την αγορά. Οι επιλογές αυτές των τομέων της ζήτησης επιδρούν στους τομείς παραγωγής και διανομής ενέργειας και επομένως στο κόστος, στις επενδύσεις άρα και στις τιμές των ενεργειακών προϊόντων. Οι σχετικές αποφάσεις, σε κάθε τομέα ζήτησης, παραγωγής και διανομής ενέργειας, προσομοιώνονται μέσω ειδικού μοντέλου για κάθε τομέα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες συμπεριφοράς, οικονομικής βελτιστοποίησης και τεχνικής αξιοπιστίας χωριστά για κάθε τομέα. Η αλληλεπίδραση ζήτησης και προσφοράς μέσω των υπολογιζόμενων τιμών διασφαλίζει την ισορροπία στο ενεργειακό σύστημα.

Το μοντέλο περιλαμβάνει πολλά μέσα πολιτικής, όπως φόρους, επιδοτήσεις, αγορά δικαιωμάτων εκπομπής όπως η EU ETS, τεχνολογικά στάνταρντ, όρια επιδόσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τις ΑΠΕ, στόχους διαφόρων μορφών (όπως προβλέπονται από την ΕΕ), επενδύσεις σε υποδομές δικτύων σε διάφορους τομείς, ειδικές πολιτικές για τις ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και πολιτικές που ενισχύουν τη βιομηχανική ωρίμανση καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών. Οι πολιτικές διαμορφώνονται ως υποθέσεις σεναρίων, τα οποία προσομοιώνονται με το μοντέλο και έτσι υπολογίζονται οι επιπτώσεις των πολιτικών στους τομείς ενέργειας, στο σύστημα, στο κόστος, στις τιμές, στις επενδύσεις και στο περιβάλλον.

Το μοντέλο περιλαμβάνει επίσης πληθώρα εναλλακτικών τεχνολογιών σε όλους τους τομείς ζήτησης, παραγωγής και διανομής ενέργειας, καθώς και καινοτόμες τεχνολογίες για τις οποίες αναπαριστά μηχανισμούς εκμάθησης σε συνδυασμό με την διάδοσή τους στην αγορά. Υποθέσεις εξέλιξης των τεχνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών των τεχνολογιών μπορούν να διαφοροποιούνται μεταξύ σεναρίων τα οποία το μοντέλο προσομοιώνει σε συνδυασμό με πολιτικές έτσι ώστε να προβάλλει στο μέλλον την επιλογή και διάδοση τεχνολογιών κατά σενάριο, καθώς και τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Το μοντέλο PRIMES προσομοιώνει τα συστήματα και τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου σε μεγάλη λεπτομέρεια αναφορικά με την κατάτμηση του χρόνου σε ωριαία τμήματα, την αναπαράσταση των δικτύων, τη διασύνδεση πολλών χωρών (για όλη την Ευρώπη και πέραν αυτής) καθώς και τις επενδύσεις, τη λειτουργία των συστημάτων και τη διαμόρφωση των τιμών, λιανικής και χονδρικής, αλλά και των οικονομικών αποτελεσμάτων για τις ανταγωνιζόμενες επιχειρήσεις. Το μοντέλο προσομοιώνει επίσης τη λειτουργία, τα οικονομικά στοιχεία και την τιμολόγηση των δικτύων που τελούν υπό καθεστώς ρυθμιζόμενου φυσικού μονοπωλίου.

Το μοντέλο PRIMES έχει ειδικά σχεδιασθεί ώστε να προσομοιώνει με λεπτομέρεια τον μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος στην κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της επιλογής νέων τεχνολογιών, ανανεώσιμων πηγών, εξοικονόμησης ενέργειας, εναλλακτικών μη ορυκτών καυσίμων και αποθήκευσης ενέργειας.

Το μοντέλο PRIMES καλύπτει με πλήρη λεπτομέρεια το ενεργειακό ισοζύγιο κατά Eurostat, το οποίο προβάλλεται στο μέλλον κατά σενάριο ανά πενταετία από το 2015 μέχρι το 2050 και το 2070. Εφαρμόζεται για κάθε χώρα της Ευρώπης χωριστά και ενιαία σε όλη την Ευρώπη για την προσομοίωση των συστημάτων και αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου. Το μοντέλο έχει γραφεί σε γλώσσα GAMS, χρησιμοποιεί αλγορίθμους βελτιστοποίησης και μεικτής μη γραμμικής συμπληρωματικότητας και επιλύεται σε σύστημα παράλληλης επεξεργασίας.

Το μοντέλο PRIMES χρησιμοποιείται από την ΕΕ από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 για την έκδοση του ενεργειακού σεναρίου αναφοράς κάθε 2-3 έτη και την αξιολόγηση και εκτίμηση επιπτώσεων πληθώρας πολιτικών της ΕΕ στους τομείς της ενέργειας, των δράσεων για το κλίμα και των μεταφορών. Πρόσφατα το PRIMES χρησίμευσε ως το κύριο εργαλείο αξιολόγησης των πολιτικών ενέργειας-κλίμα για το 2030 και για τη μακροχρόνια στρατηγική κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050. Το μοντέλο PRIMES έχει επίσης χρησιμοποιηθεί αυτόνομα από τις περισσότερες κυβερνήσεις της Ευρώπης και από μεγάλες επιχειρήσεις ενέργειας.